معهد الانماء العربي

العلوم المتكاملة ٦

الطاقة والذرة

د. حافظ قبيسي

معهد الإنماء العربي
الطاقة والذرة
العلوم المتكاملة ٦

حسن يوسف اللويشي

العلوم المتكاملة

٦

الطاقة والذرّة

اشراف
د. حافظ قبيسي

اعداد
فريق العلوم المتكاملة

معهد الانماء العربي

معهد الانماء العربي

المركز الرئيسي : ص.ب : ٨٠٠٤ طرابلس
الجماهيرية العربيّة الليبيّة الشعبيّة الاشتراكيّة

فرع لبنان : ص.ب : ١٤/٥٣٠٠ - بيروت

طبعة جديدة ١٩٨١

ساهم في وضع هذا الكتاب

– السيدة فائزة بيطار

مفوضية الطاقة الذرية الفرنسية ، ساكلاي ، فرنسا .

– الدكتور شكر الله شالوحي

كلية العلوم ، الجامعة اللبنانية ، بيروت ، لبنان .

– الدكتور محمود القرق

فريق فيزياء الجزيء والذرة ، بيروت ، لبنان .

المقـــدّمة

منذ أزمة الطاقة العالمية في سنة (١٩٧٣) ، أخذت مسألة الطاقة النووية أبعاداً جديدة .

فمع تزايد شعور الدول الصناعية (وهي أكبر الدول المستهلكة للطاقة) بضرورة تأمين حاجاتها من المواد الأولية الطاقوية ، اعتبر الكثيرون أن الذرّة هي البديل الجدّي الوحيد للنفط ، وبدت الطاقة النووية في هذه الدول وكأنها مرادف للاستقلال الوطني في ميدان الطاقة . وبكلمة أخرى ، أصبحت الذرة في نظر الدول الصناعية الوسيلة الفضلى لتخفيف تبعية الدول الصناعية للدول المصدّرة للمواد الأولية ، وفي طليعتها الدول العربيـــة .

وقلّما نال موضوع علمي أهمية عسكرية واقتصادية وسياسية ، كما نال موضوع الطاقة النووية . ويكفي أن ننظر إلى الجدول المرفق لنرى تطوّر إنتاج الطاقة في العالم في الخمسين سنة الأخيرة ، ولنرى أن الدول العربية التي لم تكن تمثّل في ميدان إنتاج الطاقة العالمية إلاّ صفراً ، أصبحت اليوم الجبّار الثالث في الميدان بعد الولايات المتحدة الاميركية والاتحاد السوفياتي .

جدول رقم (١)
تطوّر إنتاج الطاقة العالمي حسب المناطق في نصف قرن
(بملايين الأطنان المعادلة للفحم ، تيك)

المنطقة	١٩٢٦		١٩٦٧		١٩٧٢	
	مليون تيك	٪	مليون تيك	٪	مليون تيك	٪
الولايات المتحدة	٧٦٥	٤٩	١٩٦٧	٣٢	٢٠٦٥	٢٧
أوروبا الغربية	٥٣٢	٣٤	٥٤٠	٩	٥٨٦	٨
الاتحاد السوفياتي	٢٧	٢	١٢٤	١٨	١٣١٢	١٧
الشرق الأوسط	٨	٠،٥	٧٦٤	١٢	١٢٢٥	١٦
شمال افريقيا	٠،٣	—	٢٠٠	٣	٢٣٩	٣
المناطق الباقية	٢٣٥	١٥	١٥٥٠	٢٥	٢١٣٨	٢٨
العالم	١٥٦٧	١٠٠	٥١٤٥	١٠٠	٧٥٦٥	١٠٠

كما أن الرسم التالي يوضح ، إلى حدّ كبير ، درجة « الاكتفاء » في الطاقة لعدد من الدول الصناعية ، أو بالأحرى درجة « تبعية » هذه الدول الصناعية بالنسبة للدول المصدّرة للطاقة . وقد أثبتنا في ملاحق هذا الكتاب ، بعض الوثائق التي تبرز خوف المستفيدين اليوم من النظام الاقتصادي العالمي الحالي ، وحرصهم على استعمال العلم والتكنولوجيا للحفاظ على هذا النظام وعلى المكتسبات التي يؤمّنها لهم . والطاقة النووية تبدو اليوم وكأنها سلاحهم الأول في هذه الحرب الجديدة .

* * *

لقد قصدنا من هذا الكتاب إلى تعريف القارىء العربي بمسألة الطاقة النووية ، وفي سبيل ذلك ، قسمنا الكتاب إلى أقسام ثلاثة ، وعمدنا إلى التكرار حيث اعتقدنا في ذلك فائدة للنص .

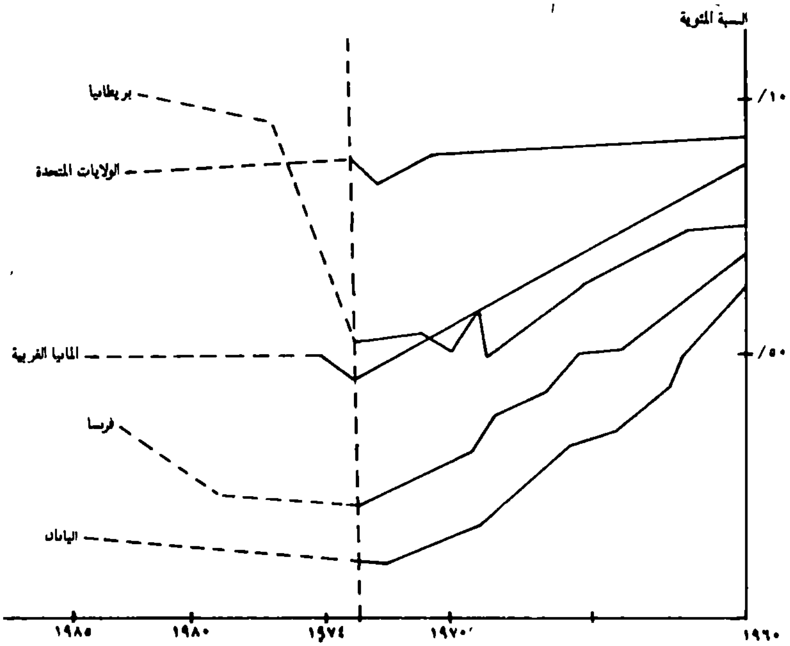
استعرضنا في القسم الأول وضع مصادر الطاقة في العالم ناظرين إلى ذلك من زاوية المحروقات المختلفة من الفحم ، إلى النفط ، حتى الأورانيوم .

وتناولنا في القسم الثاني الناحية العلمية البحتة من الطاقة النووية ، فأعطينا لمحة ، أردناها مبسّطة ، عن المواد المشعّة والذرّة وتأثير الأشعة على الذرّة وصولاً إلى الطاقة التي تتولد من هذا التأثير . ووصلنا من ذلك إلى تناول المفاعل الذرّي ، ففصّلنا طريقـة عمله وأشرنا إلى أنواعه المختلفة .

وفي القسم الثالث والأخير ، توسّعنا في النظر إلى الاستعمالات الطاقوية للمفاعل النووي ، خاصة في مجالي إنتاج الكهرباء وإنتاج الحرارة . كما أفردنا فصلاً خاصاً للأورانيوم كوقود نووي يكاد يحلّ ، من حيث اهتمام بعض الناس به ، محل النفط . وختمنا هذا القسم بالإشارة إلى مشاكل التلوّث الناجمة عن استعمال المفاعل النووي ، وهي ذات أهمية كبرى وتتسبّب في خلق شعور بالعداء للمفاعل النووي لدى شعوب الدول الصناعية .

* * *

لقد قصرنا معالجتنا لهذا الموضوع على الناحية العلمية البحتة وعلى النواحي الاقتصادية الملتصقة بها . ولكننا نأمل بإضافتنا هذا الكتاب إلى المكتبة العلمية العربية ، أن نكون قد ساهمنا في ترسيخ أهمية العلم والتكنولوجيا في ذهن القارىء العربي ، وفي التأكيد على حاجتنا الماسة لاعتماد البحث العلمي وسيلة للردّ عن وطننا وشرطاً للتقدم .



درجة الاكتفاء في الطاقة لعدد من الدول

نظرة إلى الطاقة :
من الفحم إلى الأورانيوم

المحروقات الاحفورية

١ ـ تطوير موارد المحروقات الأحفورية :

شكّلت الموارد وتخزينات الطاقة حتى الآن (خاصة تخزينات النفط والفحم منها ، أياً كان موردها) ، أحد أهم العوامل التي بنت الحكومات على أساسها سياستها الطاقوية . لكن هذا البناء كان وما زال ضعيفاً إلى حد ما ، فقد اتضح رغم عدم اكتماله في معظم الأحيان أنــه خاطىء تماما .

وتتغيّر مصادر المعطيات بشكل كبير بين مختلف البلاد وحتى داخل كل بلد ، فبينما تشكّل الصناعة النفطية في معظم البلاد المصدر الوحيد للمعلومات الكاملة المتعلقة بموارد النفط ، نرى الدوائر الجيولوجية الوطنية تمدّنا بالقسم الأكبر من المعلومات المتعلقة بالفحم ، وفي بعض الأحيان يكون تحديد الموارد معقداً ودقيقاً إلى حدّ يؤدي إلى سوء فهم وإلى توضيحات خاطئة وحتى إلى أخطاء في التقديرات .

ولقد تمّ تعديل المعلومات المبنية على التقديرات الاحصائية أكثر من مرة ، وذلك لغايات سياسية . ان الخطوط الفاصلة بين مختلف فئات وأنواع مورد معيّن ليست جامدة ، فارتفاع الأسعار وتطور التقنيات يؤديان إلى تغيرها باستمرار .

في مرحلة ماضية ، كان ارتفاع الأسعار وتطور التقنيات فيها سريعين (سنة ١٩٧٣ و ١٩٧٤ مثلاً) . ونملك يقيناً واحداً ، وهو أن المعلومات الدقيقة عن الموارد لم تعد صالحة . فقد أصبح من المهم جداً نتيجة لذلك ، وضع تحديدات أكثر وضوحاً ، على أن تكون متقاربة على الصعيد الدولي . وكذلك أصبح من المهم أيضاً تصحيح المعطيات الاحصائية المتعلقة بموارد الطاقة الأولية ، بسرعة أكبر وبشكل أتمّ .

يجب إذن أن يبدأ نشاط « البحث والإنماء » في ميدان الطاقة ، ببحث أكثر منهجية وتكاملاً حول الموارد الأولية

إن توزيع وحجم موارد النفط والغاز الطبيعي الموجودة في المناجم القارية على الصعيد العالمي ، معروف نسبياً أكثر من موارد المحروقات المتحجرة . وهذا لا يعني أن الموارد الاولى معروفة تماما .

فالموارد الاجمالية للفحم ، وخاصة الأنواع الرديئة منها ، لم تقدّر كما قدّرت الموارد النفطية ، إضافة إلى عدم الدقة والوضوح في المعلومات الجغرافية والكمّية عن تخزينات رمال الاسفلت والنضيد الزفتي (حجر متبلّر ينفلق إلى طبقات) . ومن ثمّ ، هناك حاجة ملحّة لمعرفة أكثر دقة لتخزينات كل هذه الموارد الممكن استثمارها وأماكن تورّعها . وستؤثر هذه المعرفة بحدّ ذاتها على تقرير الوضع الحالي للطاقة .

لقد كان التنقيب عن موارد المحروقات منذ عشرين سنة ، عملية بسيطة من الناحية التقنية . لكنّ الامكانيات العلمية والتقنية التي حسّنت وسائل التنقيب ازدادت خلال السنوات الأخيرة بشكل ساهم في دفع التنقيب بطابع علمي أكثر صلابة من ذي قبل .

وهناك حاجة لمزيد من أعمال « البحث والإنماء » بهدف تعميم الاستفادة من المعلومات العلمية والتقنية المهيّأة من أجل زيادتها بشكل مستمر .

فعلى صعيد النفط مثـــلاً ، يجدر القيام بأبحاث جيولوجيـــة وجيوفيزيائية وجيوكيميائية للتعرّف أكثر فأكثر على تركيبة النفط ، وعلى طريقة انتقاله ، وعلى أماكن تجمّعه . كما تساعدنا أيضاً في التقليل من أخطاء التنقيب عن النفط ، تقنيات أُخرى وآلا ت علمية أكثر إتقـــاناً .

يجب أن يكون الهدف الأخير لـ « البحث والإنماء » في ميدان التنقيب ، إيجاد طرق تسمح بالكشف المباشر في جوف الأرض عن النفط أو الغاز . فالطرق العادية ، التي تسمح بالكشف عن وجود تكوينات جيولوجية ملائمة لمناجم البترول أو الغاز ، تبقى بعيدة عن تأدية الهدف المذكور . إن تقنية « النقطة المضيئة » ربما ستكون بين أوائل وسائل الكشف المباشر . ويتعلق الموضوع إذن بتقنيات تفسّر المعطيات الزلزالية التي سمحت ظاهرياً بالتفرقة بين صدى الزلازل المنبعثة من الصخور أو من السوائل أو من الغاز .

وحالياً ، تشكّل تقنيات « الكشف من بعيد » المرتكزة على الأجهزة الفضائية أو على الطائرات ، تجديدات تبشّر بمستقبل باهر في ميدان التنقيب عن موارد النفط والفحم والموارد المعدنية الاخرى . فهذه التقنيات قادرة ، إضافة إلى إمكانياتها الاخرى ، على الوصول إلى فهم أفضل لبنية الأحواض الرسوبية حيث نستطيع إيجاد النفط .

فالقمر الصناعي « أرتز — ERTS » (قمر صناعي للكشف عن الموارد الأرضية) ، التابع لوكالة الفضاء الأميركية ، اكتشف مؤخراً ميزات جيولوجية كانت مجهولة سابقاً . وسيساعد هذا الاكتشاف على إيجاد مناجم معدنية ونفطية جديدة . ويبدو التجديد التقني في هذه الحالة غير مرتكز تماماً على الأقمار الصناعية ، وعلى الآلات التصويرية أو غيرها ، بل يبدو أن العمل الأصعب والأكثر كلفة هو تفسير هذه المعطيات . فباستطاعة القمر الصناعي أرتز ، ربما ، أن يكشف عالمياً

عن النفط وعن الماء والموارد الاخرى ، بغضّ النظر عن الحدود الفاصلة بين البلدان . لكن المعطيات الأولية المعطاة بواسطة (أرتز) لا تفيد الجميع بنفس الافادة ، بالرغم من كونها بمتناول كل من يريد .

ويبقى أنّ بإمكان أسلوب التحليل الباهظ الثمن وبإمكان تحليل المعلومات المعقّدة حداً ، أن يؤديا في النهاية إلى نتائج مرتبطة بالصناعة . وهذا الأمر يجرّ إلى عدد من المشاكل ذات الطابع الاقتصادي ، من اتفاقات وعقود دولية لا تمتّ بصلة إلى الأمور العلمية والتقنية .

هناك بالطبع طرق أحرى للتقيب الأمتل عن النفط يمكن أن تظهر أهميتها في المستقبل (مثل الطرق الزلزالية المتقنة) . وعلى أعمال « البحث والتنمية » إذن ، أن تسير في اتجاهات عديدة بغية تحسين طرق إيجاد النفط ، والفحم والموارد الاخرى . ونستطيع أن نذكر من كافة وسائل البحث الممكنة :

١ — استعمال « المنظمات الآلية » ذات الطاقة الكبيرة ، وذلك بغية دمج المعطيات المتعلقة عالمياً بجيولوجيا النفط ، بهدف إنشاء نماذج جيوفيزيائية .

٢ — تنفيذ طرق متطوّرة تتعلق بالزلازل والجاذبية .

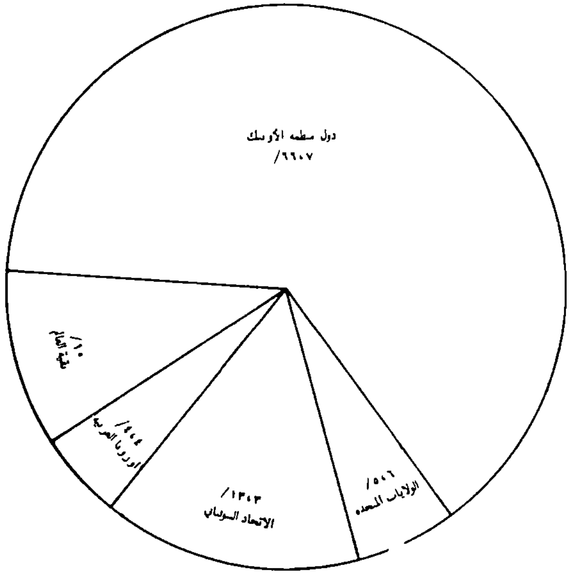
٣ — تطبيق تقنيات التحليل بواسطة الجزئيات المتماكنة أو النظائر المشعّة .

النفـــط

لا تزال على الأرض الصلبة أماكن رسوبية هامة قادرة على احتواء النفط ، وهي أماكن لم يتمّ الكشف عنها بعد . ولا تزال هناك إمكانية

اكتشافات هامة في عديد من القارات . وتشكّل عملية الحفر خارج إطار التنقيب عن النفط ، مجالاً واسعاً مَن التطور التقني وخاصة فيما يتعلق بسرعة الحفر وعمقه .

إن الحفر السريع الهيدروديناميي المتعلق بالقوّة المائية التي تسمح بثقب حفر دون أي احتكاك ميكانيكي ، يظهر كتقنية جديدة تبشر بمستقبل باهر . ونستطيع ، إضافة إلى ذلك ، ذكر أساليب الحفر المستمرّ واستعمال « المنظمات الآلية » في الحفر النفطي كطرق جديدة تستحق الاهتمام . وتسمح أساليب الحفر الحالية بالوصول إلى عمق يقارب (٨) آلاف متر ، لكن من الممكن جداً اكتشاف حقول غاز وحتى حقول نفط جديدة على عمق أكبر . إذن ، من واجب تقنيات الحفر الجديدة أن تأخذ بعين الاعتبار هذه التكوينات الجيولوجية .



احتياط العالم من النفط (احتياط مثبت بتاريخ ١٩٧٦/١/١) توزيع مئوي

وسيسمح التفسير العلمي الدقيق للعينات الرملية بتحسين معلومات المسؤولين عن الحفر بشكل ملموس ، وذلك حتى قبل إيجاد النفط . ومن المناسب ، إذن ، أن تخصّص أعمال « البحث والإنماء » أكثر فأكثر لتساعد الحفّارين على فهم متى وأين يجب إكمال أو إيقاف عملية الحفر .

كما انه بعد تحسين التنقيب والحفر ، يمكن أيضاً تطوير تقنيات الضخّ .

وغالباً ما يؤدي دخول الغاز الطبيعي (نجد الغاز الطبيعي عادة ممتزجاً بالنفط) مضخة الزيت إلى إيقافها . وهناك إذن حاجة ملحّة لإيجاد طرق أفضل للفصل بين النفط والغاز الطبيعي للحؤول دون ما يجري .

إن الإكثار من اكتشاف النفط أو الغاز ونقله إلى مناطق بعيدة أو غير آهلة ، كما في القطب الشمالي ، يبرزان أهمية تقنيات النقل .

إصافة إلى ذلك ، ان عدم معرفة تخزينات النفط أضفت أهمية سياسية جديدة على ضرورة الإكثار من تجهيزات تخزينه .

وتهدف عدة برامج « للبحث والإنماء » إلى زيادة وتحسين هذه التجهيزات . فقد تعهّدت أعمال « البحث والإنماء » أبحاثاً تتعلق بالتخزين تحت ضغط مرتفع ، وبالتخزين تحت الأرضي ، وكذلك بالتخزين في قاع البحر . كما تستطيع هذه الأبحاث على الأرجح ، القيام بمزيد من النشاطات في هذا القطاع .

١ ـ النفط البحري :

نقدّر أن في المياه المحيطة بالقارات خيرات هي على قدر ما وجدنا وما سنجد في القارات ، إن لم يكن أكثر . وبالإمكان رفع مردود الاستثمارات العائدة « للبحث والإنماء » في المياه القارية وفي المناطق

الداخلة في عرض البحر . ويقدّر المنقّبون المتفائلون أنه يوجد ، على الصعيد الإجمالي ، نفط وغاز للاكتشاف في البحر أكثر مما وجدنا ومما سنجد في اليابسة .

غير أن الأمور تجري بشكل مختلف ، فقد اصطدم العلم وكذلك التقنيات ، في مجال النفط البحري ، بمتطلبات جديدة ومختلفة . ونتبين في عملية اكتشاف النفط البحري واستخراجه عدّة مراحل هي : التنقيب الجيولوجي ، والحفر ، وإنشاء رؤوس آبار التصنيع والنقل أو الضخ نحو الشاطىء . وهذه المراحل هي الأهم ، وتبدو عملية التنقيب بينها أسهل في البحر مما هي على اليابسة . فتحرّك السفن وغياب العوائق الطوبوغرافية والسكان وأسباب أخرى ، تجعل التنقيب في البحر بواسطة الطرق الزلزالية عملية بسيطة وأقلّ كلفة . غير أن عمليتي الحفر والتصنيع ، هما تقنياً أكثر خطورة وكلفة في البحر إذا قارناهما بالطرق الكلاسيكية المطبّقة على اليابسة . وعندما تشير المعلومات الجيولوجية إلى إمكانية إيجاد نفط أو غاز في قاع المحيط ، يجب حفر بئر للتنقيب . وتختلف تقنيات الحفر باختلاف الوسط الجيوغرافي وعمق المحيط ، ففي المياه القليلة العمق ، هناك إمكانية إنشاء جزر اصطناعية . أما في المياه العميقة فيجري الحفر بواسطة غواصات نصفية أو سفن راسية ، أو بواسطة تجهيزات حفر مزوّدة براصدات متطورة مقطورة ومرفوعة بواسطة الرافعات أو بواسطة مسطحات كبيرة ثابتة . وفي حال تخطي عمق (٢٢٠) متراً ، يتمّ الحفر بواسطة تجهيزات حفر متحركة .

كان الحفر ممكناً « تقنياً » في المحيطات إلى عمق يتراوح بين (٧٠٠) و (٨٠٠) متر . ولكن ، يبدو آن إمكانية الحفر قد بلغت منذ نيسان/ابريل (١٩٧٤) عمق ألف متر . وتبقى بعض العوائق التي تقف حائلاً في وجه تقنيات التنقيب عن النفط البحري ، ومن أهمها : الكلفة المرتفعة ، وعدد السفن ، والمسطحات المعدّة للحفر المحدود .

وفي هذه الحالة يمكن آن تساهم جهود « البحت والإنماء » في تقليل الكلفة وفي زيادة التخزين بالنسة للنفط والغاز . فيمكن مثلاً ، أن نحصل على نتائج هامة إذا تمّ تنفيذ تجهيزات حفر جديدة طوّافة ذات ركائز متحرّكة ومصنوعة بمواد قليلة الكلفة . ويعتقد المنقبون أنّ تطور التقنيات الجديدة سيجعل بالإمكان القيام بحفريات على عمق أكبر : من هنا يطن أن بالإمكان في المستقبل القريب نسبياً إتمام الحفر على عمق ألفي متر في البحر .

وفي الواقع ، تختلف عملية الحصول على النفط الموجود في قاع المحيطات ، تقنيّاً ، عن التنقيبات المعروفة على اليابسة . وإذا ما وجدنا حلولاً للصعوبات التي يتعرّض لها التنقيب عن النفط البحري ، فإن ذلك سيكون نفضل جهـــود « البحت والإنماء » الجبّارة . ولتطبيقا تقنيات متطوّرة مع الاستعانة بتقنيات القطاعات الصناعية الاخرى .

وعندما نجد نفطاً في البحر ، يجب كمرحلة أُولى ، أن نجهز تحويفاً أمام البئر ، من أجل استثمارها ويكون هذا التجويف بشكل هيكل (صندوق مضغوط من الفولاذ متلاً) يغطّي أعلى البئر والمجاري المتحركة والمضحات وكل التجهيزات اللازمة كما يؤمن التجويف جفاف أعلى البئر ويسمح لفريق الصيانة بمراقبته وبمدّه بالهواء الحاف كلما دعت الحاجة إلى ذلك أما عندما تكون المياه قليلة العمق فمن الممكن تأمين هذا العمل بواسطة الغطّاسين

وبعد تأمين التحويف أمام البئر ، يجب الاهتمام بغوّاصة الصناعة الترولية وتتألف هده الغوّاصة من « كبسولة الخدمة » ، أي كبسولة الغوص . وهي متل جهاز الغوّاصين ، وتتصل بالشاطىء بواسطة سفينة الأمان ، وتسمح بإيصال عدد قليل من العمال إلى أعلى البئر .

ونرى في إحدى الغوّاصات المتطوّرة ، أن كبسولة الخدمة ليست إلاّ إتقاداً للكبسولة القديمة التي تؤمّن إنقاد البحّارين المسحونين داخل

الغواصات الغريقة .

إن أقسام جهاز العواصة التقنية مؤمّنة كلها ، وذلك على الرغم من وجود مشاكل لم تحلّ بعد ، وتتعلق بتخزينات النفط في قاع المحيطات وبعملية ضخّها .

ويبقى أن تُجَمّع هده الأقسام التقنيـــة وأن تقارن المظاهر الاقتصادية للتجهيزات المتزاحمة المصالح . فهناك تسع عواصات على الأقل ، اقتُرح تبنّيها ، بينها اثنتان تم تجهيزهما ، وهما حاضرتان للاستعمال .

لقد أصبح من المهمّ جداً ، تطوير التقنيات البحرية ، فهناك عدة آبار بحرية للنفط قد توقفت لأن تقنية الصناعة غير مؤهلة فعلياً لاستخدامها ، هذا من ناحية ، ومن ناحية ثانية ، سمحت الدراسات الجيولوجية الأخرى باكتشاف عـــدد من الأحواض الرسوبية الشاسعة المساحة ، وذلك في مياه قارية يتراوح عمقها بين ألفين وثلاثة آلاف متر .

إن النشاطات المنفذة في السحر أضافت إلى صناعة البترول بعداً حديداً في حقل تلوُّث البيئة . فالبيتة البحرية تتطلب ، بالضرورة ، أبحاثاً عديدة وجديدة . وأكثر ما يشغل الحكومات والرأي العام في هذا الموضوع ، هو خطر تسرّب النفط ، بالرغم من محاولة كل التجارب المحققة حتى الآن إثباتَ أنّ هذا الخطر ، تقنياً ، غير ذي أهمية ، وأن التسرّبات تعود في معظم الأحيان إلى أخطاء بشرية لا إلى عقبات فنية . وقد أدّت عشرات الالوف من الآبار المحفورة في البحر خلال العشرين سنة الماضية إلى عدد قليل من التسرّبات عير المهمّة ، وإلى تسرّب واحد مهم نوعاً ما (في سانتا بربارا) .

وبعد كل حساب ، يبدو أن التنقيب عن النفط البحري الموجود نسبياً قرب مراكز الاستهلاك لا يلوث البيئة البحرية كما تفعل عملية

نقل النفط إلى مسافات طويلة. وبالرغم من كون تقنيات محاربة المستنقعات السوداء قد ازدادت في السنوات الأخيرة، فإن مجهوداً إضافياً لـ «البحث والإنماء» في هذا المجال قد يكون مهماً، وذلك دون التخلي عن جهوده المخصّصة لزيادة الوثوق بتقنيات التنقيب البحري.

وفي المناطق القطبية، وخاصّة في المحيط المتجمّد الشمالي، تضاف إلى مشاكل البيئة مشاكل تقنية استثنائية تتعلق بالجليد وبالمناخ البارد.

ويبدو، بالنتيجة، أن إنتاج النفط البحري سيتأثر، وفي بعض الأحيان سيرتبط مباشرةً بالتطورات التي ستحققها مجموعة العلوم المحيطية. فيجب، إذن، وبالتأكيد، تخصيص أعمال «البحث والإنماء» أكثر فأكثر لدراسة أحوال البيئة البحرية وبالأخص التيارات المحيطية، وجيولوجيا عمق البحار، والبيولوجيا البحرية، وتآكل مختلف المواد في علم بيئة البحار، وعدة مواضيع أخرى في الميدان ذاته. ومن ناحية أخرى، يجب أن تقام أبحاث عديدة أخرى مخصّصة لتحسين شروط الأمان.

٢ ـ الاستخراج الثاني للنفط:

هناك اليوم تقنيات جديدة ومعروفة يمكن تسميتها تقنيات «الاستخراج الثاني للنفط». والمقصود بذلك هو الوصول في آبار النفط المعروفة إلى الحصول على كميات إضافية من النفط كان قد تعذّر الحصول عليها في عملية الاستخراج الأول.

والفرق بين الاستخراجين الأول والثاني هو فرق تقني بحت. ففي حين أن الأول يستعمل تقنيات معروفة ومتداولة، فإن الثاني يتطلب تقنيات جديدة غير متداولة: مثل زيادة الضغط في البئر بضخّ السوائل فيها كالماء أو الغاز أو الهواء أو في مرحلة أعلى باستعمال تقنيات حرارية

للحصول على كمية أكبر من النفط .

ويعطي تطوير هذه التقنيات المجال لمزيد من التخزينات النفطية التي ستصبح هائلة على المدى الطويل . وبمعنىً آخر ، ستسمح هذه التقنيات بزيادة النفط الموجود في آبار معروفة لم يكن بالإمكان استخراجه حتى الآن . ففي سنة (١٩٧٣) ، لم تزد كمية النفط الموجودة والتي أمكن استخراجها على (٣٠٪) . ويقدّر الخبراء أن بالإمكان مضاعفة هذه النسبة بعد مدة طويلة ، لكنها لن تبلغ أبداً نسبة (١٠٠٪) إلاّ في حالات نادرة جداً . وعلى كل الأحوال ، يجب أن تنفّذ عملية « البحث والإنماء» بجهود جبارة لكي نحصل على معدل (٦٠٪) في استخراج النفط .

وخلال السنوات الأخيرة ، أدّت الأبحاث المهتمة بالاستخراج الثاني إلى بعض النتائج . فعملية حقن السوائل قد أعطت في الولايات المتحدة مثلاً (٣٥٪) تقريباً من الإنتاج العام في سنة (١٩٧٤) .

ومن المقدّر أن يؤدي ارتفاع أسعار النفط وتطوّر التقنيات خلال السنوات العشر القادمة ، إلى ارتفاع نسبة الاستخراج الثاني إلى (١٪) سنوياً . ويعادل ذلك في الولايات المتحدة وحدها (٤) مليارات برميل سنوياً ، أي ما يقارب الإنتاج العام في الولايات المتحدة سنة (١٩٧٤) .

وهكذا ستتمكّن أميركا في الثمانينات أن تستخرج (٤٠٪) على الأقل من مواردها النفطية المخزّنة ، مما يمثل بحدّ ذاته ارتفاعاً رائعاً في نسبة مخزونات الآبار .

وتبدو عملية الحقن بالماء من أهم تقنيات الاستخراج الثاني الشائعة الاستعمال . وتتطلب هذه العملية بالطبع ضخّ المياه في الصخور النفطية من أجل استخراج الزيت . وتستعمل تقنيات أخرى أكثر تطوراً ، البخار ، والحرارة ومواد كيميائية مثل المركّبات ذات الفعل الضغطي : تضاف المواد الكيميائية إلى الماء من أجـل سحب النفط الموجود في التجويفات وفي التشعبات الصخرية الصغيرة الحجم . أما كلفة هذه

المواد فقد كانت باهطة جداً حتى عهد قريب ، مما جعل النفط الحاصل باهط السعر أيضاً

وستسمح بحوث إضافية بتحسين أساليب الاستخراج النفطي الثاني. فمثلاً : ان معرفة أدقّ لطريقة تشت الماء والزيت على البنيان الصخري يمكن أن تكون جد مهمة . ويقتنع بعض الخبراء بأن المعلومات الجيولوجية والكيميائية المتعلقة بهذا الموضوع ما تزال ناقصة . كما ان طريقة العمل هذه تبدو قادرةً على زيادة النسبة العالية في الاستخراج ، وعلى تخفيف نسبة الكلفة النهائية أكثر بكثير مما تسمح به الطريقة العادية التي لا ترتكز على تقنيات الاستخراج المتطوّرة إلاّ في حالات الحاجة .

٣ ــ الزيوت الثقيلة :

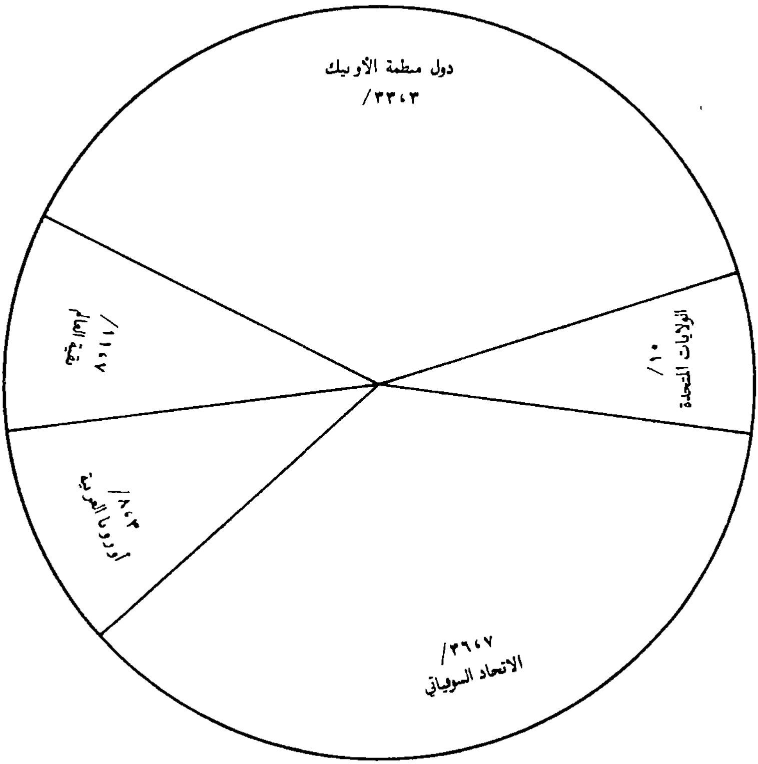
إن الزيوت الثقيلة ليست سائلة بما فيه الكفاية لكي تصحّ إلى سطح الأرض . وفي هذه الأيام ، نجد هذه الزيوت في كندا ، والولايات المتحدة ، وفنزويلا . ولا تعرف التحزيبات الموجودة في هذه البلاد معرفة تامة ، لأن الزيوت الثقيلة لم تكن لتثير أيّ اهتمام عندما كانت تتأرجح أسعار النفط بين دولار ودولارين لكل برميل .

ويتطلب إنتاج الزيوت الثقيلة بكميات كبيرة ، أشغالاً إضافية في « البحث والإنماء » ، إذ تشكّل حدثاً اقتصادياً هاماً فيما بعد ، إضــافة إلى أن الطرق المستعملة في استخراج الزيوت شبيهة بطرق الاستخراج الثاني في النفط العادي

الغـــاز الطبيعي

نجد الغاز الطبيعي مختلطاً عادة مع النفط (مناجم الغاز المختلط) أو منفرداً (مناجم الغاز غير المختلط) ، كما نجد الغاز في بعض الحالات

في مناجم النفط ، وفي حالات أخرى نجده في مناجم الفحم . وتظهر المشاكل المطروحة في التنقيب عن الغاز شبيهة جداً بمشاكل التنقيب عن النفط ، ولا تبدو المعلومات المعروفة عن موارد الغاز أدق أو أوفر من تلك المتعلقة بالنفط



احتياط العالم من الغــاز الطبيعي
(احتياط مثبت بتاريخ ١/١/١٩٧٦)
توزيع مئوي

وتصطدم أعمـــال « البحث والإنماء » الناشطة في ميدان الغاز بعوائق يرتبط أهمها بعمليات التخزين والنقل . فالغاز رغم كونه المحروق الطبيعي الأكثر نظافة وسلاسة ، هو في الحقيقة أصعب المحروقات ، سائلة كانت أو صلبة ، من ناحية تخزيـــه أو نقله عبر البحار . ونستطيع في مناجم الغاز غير المختلط ، الوصول إلى تنظيم إنتاج الغاز . أما في مناجم الغاز الطبيعي المختلط ، فيرتبط إنتاج الغاز بإنتاج النفط . وليس بالإمكان تغيير مردوده . ويمكن في حال الغاز غير المستعمل ، أن يضخّ من جديد في الآبار أو يتلف أو أن يحوّل إلى سائل .

إن عملية إعادة الضخّ تساعد في الإبقاء على الضغط في منجم النفط وعلى حفظ الغاز بهدف استعماله في المستقبل ، إلاّ أن القسم الأكبر من الغاز الطبيعي المستخرَج مع النفط يتلف بالاحتراق ، وخاصة في الشرق الأوسط .

ولكي نتلافى هذه الخسارة ، علينا أن نحوّل هذا الغاز إلى محروق يمكن تخزينه ونقله بسهولة . والطريقة العادية المتبعة في هذه الأيام هي نقل الغاز بواسطة الأنابيب أو بشكل سائل (غاز طبيعي سائل) إذا أردنا نقله عبر البحار . إلاّ أن نقل « الغاز الطبيعي السائل » يتطلب سفناً خاصّة غالية الثمن .

وتبدو التقنيات في هذا المجـــال جاهزة ، رغم تخوُّف البعض من أخطار الحوادث التي يمكن أن تتسرب وتشعل هذا الغاز الطبيعي ، خاصة في المرافىء ، مع العلم أن الأرباح الإضافية في هذا المجال صعبة المنال ، فإن على عملية « البحث والإنماء » أن تكرّس الجهود لأبحاث جديدة حول تقنية التسييل والنقـــل والتخزين السهل والقليل الكلفة . ولن يكون الغاز الطبيعي السائل دائماً الحل الأفضل ، فبالإمكان تحويل الغاز إلى ميتانول مثلاً . وهذه الطريقة أكثر كلفة من الأولى ، لأن نصف كمية الغاز تضيع إذا اتبعنا تقنيات التحويل العادية . إلاّ أن

الميتانول ، في نقله ، أقلّ خطراً وثمنـــاً من الغاز الطبيعي السائل في المسافات الطويلة . وهو ، أي الميتانول ، ذو أهمية كبيرة في الصناعة الكيميائية ، إذ بإمكانه أن يصبح محروقاً مهماً . وسيلعبِ في المستقبل دوره الفعّال في القرارات المتخذة بشأن تحويل الغاز الطبيعي .

ويصطدم الغاز البحري ، تماماً كالنفط البحري ، بعدة مشاكل خاصّة ، ويشكّل أيضاً عوائق جديدة في وجه الأبحاث . وبغضّ النظر عن المشاكل المتعلقة بأمان التجهيزات البحرية (وهي مشاكل مشتركة بين النفط والغاز) ، تبقى عملية إعادة ضخّ الغاز غير المستعمَل في الآبار البحرية عملية تتطلب مجهوداً إضافياً من البحث . أما إذا لم تتم إعادة ضخّ الغاز الطبيعي أو نقله إلى الشواطىء ، فهناك حلّ اقتصادي يرتكز على تسييله ومن ثم نقله بواسطة سفن الغاز الطبيعي السائل ، أو يرتكز على تحويله منذ البدء إلى ميتانول . وهناك ضرورة لإجراء أبحاث إضافية بهدف إيجاد وسائل تسييل أو تحويل الغاز إلى ميتانول تكون أكثر اقتصادية وأشد ضمانة من الأخطار .

وبين الاحتمالات الاخرى التي تبقى في مجال التنقيب عن الغاز الطبيعي ، تظهر عملية الضخّ واستعمال الغاز المخبّأ أحياناً داخل طبقات الفحم ، وتحرير الغاز الكامن في البنيان الصخري .

وتفوق كميات الغاز الموجودة في البنيان الصخري في الولايات المتحدة وحدها ، كلّ تخزينات الغاز الممكن استخراجها بشكل طبيعي وعادي . ونسبة الغاز في الصخور قليلة جداً ، وهي لا تشكّل هدف تنقيب مربح بالتقنيات الحالية ، فيجب ، على الأرجح ، تكسير الصخور ولكنّ التفجيرات النووية التي استعملت في تجارب التكسير لم تعطِ نتائج مرضية اقتصادياً . ومن الضروري إذن أن تهتم أعمال « البحث والإنماء » بتقنيات تكسير الصخور .

النضيد الآجري

تشير التقديرات المعروفة أن موارد المحروقات المتحجرة ، الأكثر أهمية بعد الفحم ، ليست من النفط أو الغاز ، بل من نضيد آجري يحتوي على مادة الكسيروجين الصلب ، وهي مادة عضوية يمكن تحويلها إلى سائل شبيه بالنفط . وتملك الولايات المتحدة وحدها من هذا النضيد ما لا يقلّ عن (١٨٠٠) مليار برميل ذي كثافة عالية . ويفوق هذا الرقم عائدات النفط المعروفة . ونعلم بوجود مناجم نضيد هامة في عدد من البلاد الاخرى . كما ان التنقيب المنظّم عن هذه الطاقة لم يبدأ إلاّ مجدداً . ولكن ، يبدو أن التوزيع الجغرافي لهذه الصخور سيكون أفضل من توزيعات النفط المكتشفة حتى الآن . وسيكون إذن البحث الأوسع عن النضيد ، في طبقات أعمق من الطبقات السطحية ، عملاً ذا أولوية .

ولا يتطلب تحويل النضيد إلى زيت سائل علوماً أكثر تعمقاً مما تتطلبه التحويلات الاخرى . ويقتصر الأمر على عملية سهلة نسبياً ، عرفت منذ أكثر من قرن ، إذ يكفي تسخين النضيد المطحون إلى درجة (٤٥٠) درجة تقريباً بهدف تمييع الزيت وتمكينه بالتالي من السيلان .

ومن الامور التي حالت أكثر من غيرها دون التنقيب موسعاً عن هذا النضيـــد الآجري ، مشاكلُ الإتقان والكلفة التي يتطلبها نقل وتسخين كميات كبيرة من النضيد ، وكذلك مشاكل التلوّث التي تطرحها على صعيد البيئة . وتقدِّر التقنيات التي نفّذت في السنوات الأخيرة إمكانية استخراج النضيد ونقله إلى أماكن مجهّزة لتسييله . وتتطلب هذه التقنيات كميات كبيرة من المياه ، وتترك على وجه الأرض حجماً من النضيد المستعمل أكبر من حجم النضيد المستخرَج ، وذلك لأن عملية الطحن والتسخين تمدّد حجم النضيد . وتلزم ، تقريباً ، ثلاثةُ براميل

ماءٍ لكل برميل من زيت النضيد . ويستعمل برميل ماء ونصف من الثلاثة لتجميع النضيد المستعمَل . وستقلّ حاجة العملية إلى المياه كلما تحسّنت تقنية جمع هذا النضيد .

ولقد اقتُرحت حديثاً طريقة مختلفة لاستخراج النضيد على الشكل التـــالي :

تتمّ هذه العملية بإجراء حفر داخل طبقات النضيد بواسطة التقنيات العـــادية في المناجم . ويجري طحن النضيد داخل الحفر بواسطة المتفجرات ، ثم يسخّن . ويجتمع الزيت داخل الحفر ويتمّ نقله إلى سطح الأرض بواسطة الضخ . ولقد تكللت بالنجاح أول تجربة نموذجية في نهاية سنة (١٩٧٣) .

وبالطبع ، ستكون حسنات طريقـــة الاستخراج تحت الأرضي حاسمة . وتتميز هذه الطريقة باستفادتها من مناجم النضيد الفقير بالزيت (وهذه حال عالبية ماجم النضيد) ، بينما كانت الطريقة القديمة تستغني عن خدمات هذه الأماكن لاعتبارها فقيرة بالزيت ، فتكتفي بالغنية منها .

وستقلّل المفاجآت غير المنتظرة منسوب الزيت بين حفرة وأُخرى . لكن هذا لا يعني إعادة النظر في الطريقة بمحملها . ويشير بعض الخبراء إلى أنه لا حاجة للطريقه تحت الأرضية للمياه (على الأقل في عملية الاستخراج بحدّ ذاتها) . وإضافة إلى ذلك ، تخفّف هذه الطريقة من مشاكل البيئة وتكلّف أقل لأنها لا تتطلب أعمال استخراج ولا تحتاج إلى إنشاء تجهيزات تسييل على سطح الأرض وصحيح أن تعويض كلفة الزيت لن تكون عملية سهلة . لكن بإمكان النضيد الفقير بالزيت وغير المستخرَج بطريقة اخرى أن يعوّض أحياناً ، خاصة إذا كانت تقنية الاستخراج زهيدة الكلفة

ومع ذلك ، على عملية « البحث والإنماء » أن تستمرّ في أعمال الاستخراج السطحية . ففي البداية ، ولبضع سنوات قادمة ، يمكن أن تجد هذه التقنيات مجال تطبيق أوسع من الطرق الاخرى . فلهذه الطريقة أمل في التطوّر والإتقان في الأماكن الغنية بالمياه ، حيثُ تمنع المياه الباطنية عملية الاشتعال تحت الأرضية .

وكذلك ، يمكن لهذه العملية أن تصل أوجَها إذا كان النضيد السطحي غنياً بالزيت مما سيسمح باستخراج نسبة عالية من الزيت ، وبالتالي جعل عملية التسييل السطحي عملية رابحة .

وفي جميع الأحوال ، يجب الاستمرار بتطوير تقنيات الاستخراج تحت الأرضي . فإن كانت التجربة الاولى ناجحة وتبعتها تجارب أخرى إيجابية سيؤثر ذلك تأثيراً كبيراً في رفع شأن النضيد الآجري تقنياً واقتصادياً ، مع العلم أن للنضيد تأثيرات أكثر فعالية من تقنيات تحويل الفحم ، على الأقل في البلاد التي تملك مناجم النضيد .

الرمـــال الزفتية

توجد الرمال الزفتية أو الرمال النفطية في مناطق عديدة من العالم مثل كندا والولايات المتحدة وفنزويلا . وفي هذا الميدان أيضاً ، تبدو المعلومات حول هذه الموارد محدودة . وتظهر تخزينات الرمال الزفتيـــة المعروفة أقل أهمية وانتشاراً من تخزينات النضيد الآجري . فلكي نحصل على الزيت الموجود في الرمال الزفتية ، علينا أولاً استخراج هذه الرمال . ويتمّ ذلك عادة بعد إزالة التربة الميتة بواسطة الحفر . وبعدها ، يفصل القطران ، أو الزيت ، عن الرمل بعد تصفيته وتحويله إلى منتج خام .

ويمكن أن تؤثر مراحل العملية هذه على البيئة . ففي كندا ، كانت معالجة الرمال الزفتية عملية بطيئة بسبب العوامل التقنية والمصاريف الباهظة التي تتطلبها . ان عملية الاستحراح الأسرع المستعمَلة حالياً في هذا البلد تحصل بالكاد على (٥٪) من تخزينات الرمال الزفتية أما التقنية التي ستستخرج النفط الباقي في التخزينات فلا وجود لها حتى الآن . لكن جهود « البحث والإنماء » مستمرّة لإيجاد طرق تحصيل تحت أرضية ، تكون بين مراحلها عملية الاشتعال المتبعة بضخّ الماء والبخار .

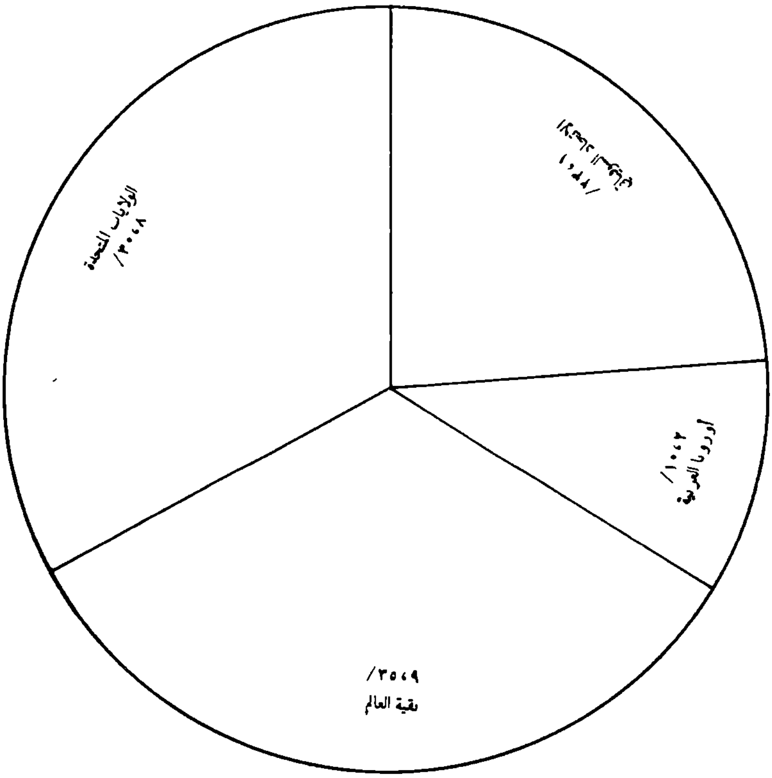
إن عملية الحصول على النفط من الرمال الزفتية تبدو ناجحة في هذه الأيام . فقد جرى في سنة (١٩٧٢) إنتاج (٥٠) ألف برميل نفط في اليوم ، ومن الممكن إنتاج كميات أكبر ، مما يجعل من هذه الطريقة إحدى وسائل تحويل وإنتـــاج المحروقات المصنّعة الأكثر تطوّراً . ويبقى على جهود « البحث والإنماء » أن تستمرّ في كل الأحوال ، في استحراح الرمال الزفتية ، وبخاصة التركيز بينها على ما هو فقير بالنفط وعلى ما هو موجود في أعماق الأرض .

الفحـــم

يفضّل العديد من البلدان إعطاء الفحم من جديد أهميته كمورد للطاقة ، الأمر الذي فقده في السنوات العشر الأخيرة . ومن الصعب تحقيق هذه الأماني بسرعة ، فالتمديد يتطلب زيادة مكثّفة في إنتاج الفحم تدعو إلى استعمال طرق في الاستخراج أقلّ كلفة وأكثر جودة .

ومن ناحية أُخرى ، يبدو من الضروري تحقيق جهود مهمّة في « البحث والإنماء » لإزالة التركيبـــات الملوّثة ، ولتحويل الفحم إلى محروقات سائلة أو غازية تجعل الاستفادة منه أكثر سهولة . وحتى في حال ارتكار هذه الأبحاث على قواعد ووسائل معروفة ، فإنها ستحتاج

إلى ثلاث أو خمس أو حتى عشر سنوات من أجل إتقان هذه الوسائل لكي يصبح تطبيقها ممكناً على الصعيد الاقتصادي . ويتطلب تطوير هذه الوسائل مثلاً بدء العمل ببرامج بحث هامة حول اللوازم والأجهزة لمعالجة السوائل المذيبة والمواد الصلبـــة الكاشطة تحت حرارة وضغط مرتفعين .



احتياط العالم من الفحم
(احتياط مثبت بتاريخ ١٩٧٦/١/١)
توزيع مئوي

في الوقت الحالي ، يعود معظم المعلومات عن الفحم إلى أعمال البحث التي جرت في المانيا بين عامي (١٩١٠) و (١٩٤٠) . وعلى عملية « البحث والإنماء » أن تبذل الجهد في جميع المجالات ، لا سيما في البحث في أساس الامور : لأن الفحم معدن معقّد التركيب ، لا تُفهم طبيعته تماماً حتى في ميدان الكيمياء . لذا اعتبرت تقنية الفحم والعلوم الدائرة حوله في حالة ضياع ، إذا ما قارناها بتقنيات النفط والأورانيوم . وتعود حالة الضياع هذه إلى ماضي جهود « البحث والإنماء » التي لم تكن إلاّ وليدة الحاجة الملحّة في منطقة ما ولم يؤمّن لها في الغالب التمويل اللازم . كما تعود أيضاً إلى نقص الجهود في العشر سنوات الأخيرة عندما اعتلى النفط حلبة المسرح .

من هنا ، نجد اليوم عدداً من الاقتراحات المتعلقة بمعالجة الفحم وتحويله ، بعضها لا يتعدى كونه أفكاراً ونظريات ، والبعض الآخر رضخ لتجارب جزئية فقط . ولقد نعم بعض هذه الاقتراحات بتجهيزات نموذجية ، ولكن لم تصل واحدة منها إلى إنتاج كميات الفحم المحول بأسعار مقبولة ، وأدّى القليل منها ، إلى تقنيات جيدة . وتتعقّد المسألة أكثر فأكثر ، بوجود أنواع وأصناف عديدة ومختلفة من الفحم تجعل هذه التقنيات (مهما ازدادت واتسعت) تقنيات تنطبق على أصناف من الفحم دون الاخرى .

ولو كان بالإمكان مسبقاً رؤية تقنيات التحويل وإبادة التلوّث القادرة في النهاية أن تكون الأقل كلفة والأسهل والأكثر فعالية ، لانصبّت جهود « البحث والإنماء » منذ الآن على تنفيذها مما يسمح بادخار الجهد والمال . وفي مرحلة كالمرحلة الحالية ، يتعذر الاختيار المسبق ولا يوجد حلّ لذلك إلاّ بأن تنطلق جهود « البحث والإنماء » في عدة طرق عمل متوازية ، وأن تترك تدريجياً الطرق غير المثمرة . فبعض المسائل العلمية والتقنية ، تتعلق أحياناً بالفحم وبالطاقات

الاخرى ، وبالنتيجة ، لن تكون جهـــود « البحث والإنماء » حاسرة لو اهتمّت بمسائل كهذه .

وسيتخذ الفحم إذنَ وضعاً أكثر أهمية في البلاد التي تملك ثروات ملائمة ، وحتى في بلاد أخرى ، نتصل اطراد تبادل الفحم ، كما سيتأثر هذا الوضع بإمكانيات الفحم كطاقة وسعره ، وكذلك باكتشاف مناجم نفط جديدة أو مناجم نضيد آجري في بعض البلاد . وفي النهاية ، وعلى المدى الطويل ، سيتأثر وضع الفحم بالسرعة النوعيـــة في نشر الطاقة النووية

الطاقة النووية

إن الجهود الكبيرة التي تمّت بعد الحرب العالمية الثانية في البحوث والتنمية في مجال الذرّة ، قد جعلت من الطاقة النووية البديل المؤهّل في نظر الكثيرين للحلول محل النفط في ميدان إنتاج الكهرباء . وإذا كانت هذه الجهود ما تزال مستمرّة للتغلب على بعض المصاعب المتبقية والمتعلقة بأمور السلامة والتلوّث . والمردود الاقتصـــادي ، فإن النفط سيبقى — مهما كانت النتائج — مادة أولية مرغوبة في مجالات أُخرى غير الكهربـــاء .

ويتعلق مدى اعتبار الطاقة النووية ، ومقدار الاهتمام بهـــا ، وإمكانية وضع استراتيجيات وطنية لاعتمادها ، أولاً بالمقادير المتوفرة (أو التي يمكن توفيرها) من الوقود النووي الأساسي ، أي الأورانيوم .

وزيادة معلوماتنا الأساسية حول مناجم الأورانيوم من الناحية الكمية والناحية النوعية لا يكفي . إذ يجب أن تضاف إلى هذه المعلومات معلومات أدقّ وأوفى حول كلفة استخراج الأورانيوم وكلفة الاستفادة منه ، أي أننا بحاجة إلى معرفة مردود استعمال الاورانيوم بشكل عام .

إن الجهود في مجال « البحث والإنماء » يجب أن تتوجّه إلى تحسين وسائل الكشف عن الأورانيوم وتحسين وسائل استخراجه من جهة ، وإلى ضرورة اكتشاف مناجم كافية من هذا الوقود الثمين من جهة ثانية . إذ أن وضع الاستراتيجيات النووية الوطنية موضع التنفيذ يستلزم كمية وافية من الاورانيوم ، ولا يجوز السير في هذه البرامج إذا لم يضمن ذلك بشكل مأمون .

١ — الجيل الحالي :

إن أنواع المفاعلات النووية قد تعددت إلى حدّ كبير ، وهناك مشاريع كثيرة لمفاعل مفرط الفعالية . ولكن التزايد المقدر في إنتاج الكهرباء النووية في السنوات العشر القادمة سيعتمد أساساً على أنواع المفاعلات القائمة حالياً ، أي بشكل خاص على نوعين من المفاعلات :

— المفاعل الذي يستعمل المياه الخفيفة (LWR) ويقدّر له أن ينتج (٩٠٪) من الكهرباء النووية في الثمانينات .

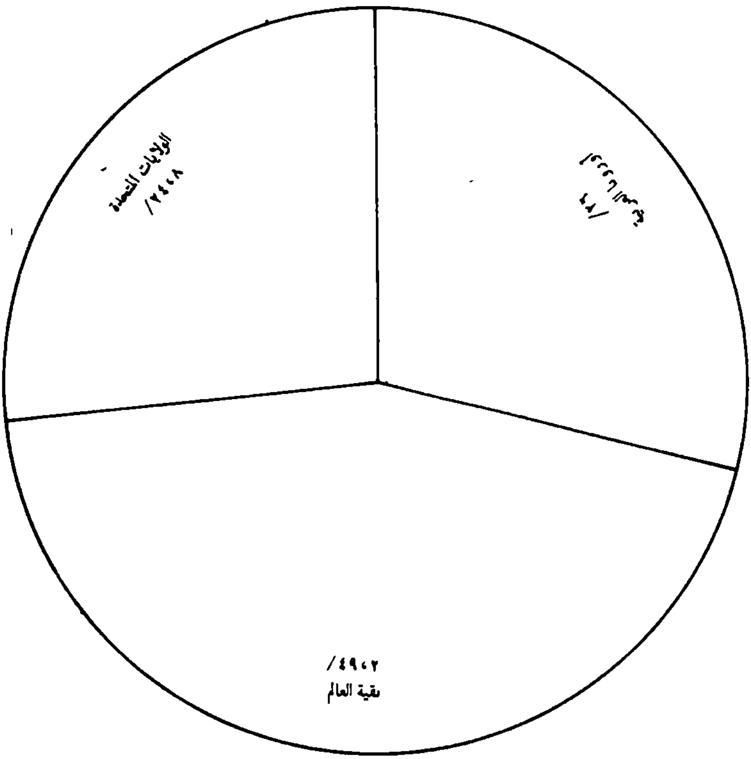
— المفاعل الذي يستعمل المياه الثقيلة (HWR) ، وسيكون دوره محدوداً .

إنّ هذه المفاعلات قد أثبتت فعاليتها .. ومع ذلك ، فإن جهوداً أكبر في البحوث يجب أن تؤدي إلى تحسينات في نواح عدة متعلقة بعمل المفاعلات نذكر من هذه النواحي ما يلي :

— إنتاج الاورانيوم وتحويله .
— تكثيف الاورانيوم .
— صناعة الوقود .
— الوقود المشعّ .

– نقل المضلات الذريّة .
– تسرُّب الأنابيب .

إن تزايد أعداد المفاعلات سيؤدي إلى تزايد كمية الوقود النووي المطلوبة والمستعمَلة . ولذلك فإن هذه التحسينات المطلوبة ستقلّل من تعقيد المشكلات المتعلقة بالتلوّث وبالسلامة .



احتياط العالم من الأورانيوم
(احتياط مثبت بتاريخ ١٩٧٦/١/١) توزيع مئوي

٢ – المفاعل الحراري :

إن الحرص على استعمال الموادّ المتوفرة من الاورانيوم ومن الثوريوم بطريقة مثلى تنزل بالهدر إلى أدنى مستوى ، دفع عـــدداً من الدول لتشجيع نوع معيّن من البحوث تجري على أنماط مختلفة من المفاعلات . ونقدم فيما يلي مثلين عن أهداف هذه البحوث :

– المثل الأول هو لمفاعـــل يجري درسه في اليابان ويسمّى « المفاعل الحراري المتقدّم » . يستعمل هذا المفاعل الاورانيوم المكثّف حتى (١،٥٪) أو مزيجاً من البلوتونيوم ومن الاورانيوم الطبيعي . ويجري تبريده بواسطة المياه الساخنة حتى الغليان .
– المثل الثاني ، هو لمفاعل كندي يستعمل المياه الثقيلة . وقود هذا المفاعل يزاوج بين الثوريوم والاورانيوم (٢٣٣) .

إن اعتماد التزاوج بين الثوريوم والاورانيوم (٢٣٣) يتطلب مزيداً من البحوث ، وخاصة فيما يتعلّق بتطوير سريع في إنشاء مفاعل عالي الحرارة يبرّد بالغاز (HTGR) . ومن المتوقع أن تكون ضرورات السلامة أقرب إلى التأمين منها في بقية المفاعلات المعروفة .

إن الغاز المستعمل لتبريد هذا المفاعل هو الهليوم . ومن المعروف أن إمكانيات الهليوم في هذا الصدد تبلغ درجة عالية . وتبلغ الحرارة في النماذج المعتمدة وهي قيد الصنع ، (٧٥٠) درجة مئوية .

وسيضمن هذا مردوداً حرارياً أفضل من المردود الحاصـــل في المفاعلات الحالية . إن حرارة كهذه تسمح باستعمالها مباشرة في عدد من الصناعات التي تتطلب ذلك ، وخاصة في الصناعات الكيميائية وفي صناعات المعادن .

٣ – المفاعل المفرط الفعالية :

يتميّز المفاعل المفرط الفعالية عن المفاعل العادي بدرجة من الفعالية في استعمال الموارد النووية تساوي (٤٠) ضعفاً فعاليةَ المفاعل العـــادي .

ومن الملاحظ أن جميع الدول المهتمة بهذا المفاعل (المانيا ، فرنسا ، الاتحاد السوفياتي ، اليابان ، الولايات المتحدة والمملكة المتحدة) ركّزت جهودها في اتجاه وحيد : اتجاه مفاعل مفرط الفعالية يستعمل النيوترونات السريعة والسوديوم السائل للتبريد، والبلوتونيوم كمادة انشطار ، والاورانيوم كمادة خصبة (LMFBR) . والنجاح الأكبر لهذا المفاعل قد سجّله المفاعـــل (فينيكس) (٢٥٠ ميغاوات) في مركز مركول (Marcoule) في فرنسا ، فلقد بدأ هذا المفاعل بإنتاج الكهرباء سنة (١٩٧٣) ، وبلغ قدرته القصوى في شهر آذار/مارس (١٩٧٤) .

وفي حال النجاح في إجراء التطويرات الضرورية لهذا النوع من المفاعلات ، من المنتظر إنجاز المفاعلات الضخمة والمربحـــة تجارياً (١٠٠٠ ميغاوات فما فوق) ابتداء من سنة (١٩٨٥) .

ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن تطوير المفاعل المفرط الفعالية لا يعني بالنسبة للدول المعنية به الاستغناء عن المفاعلات الحالية . إن السعي في هذا المجال يهدف ، على العكس من ذلك ، إلى إيجاد نوع من التكامل بين جميع أصناف المفاعلات وفق معايير اقتصادية وعملية معينة .

إن القدرة الطاقوية لطن من الاورانيوم في مفاعل يعمل بنيوترونات بطيئة تعادل (١٣٠٠٠) طن من الفحم أو (٨٦٠٠) طن من النفط . ولكن هذه اقدرة تعادل مليون طن من الفحم أو (٦٠٠٠٠٠) طن من النفط في مفاعل مفرط الفعالية . فإذا استعملنا المفاعل المفرط الفعالية دون غيره ، فإن المدخرات الثابتة من الأورانيوم في العالم (ما عدا البلدان

الاشتراكية) تعادل عشر مرات مدخرات النفط العالمية الثابتة .

وإذا أضفنا الديتوريوم والثوريوم والليثيوم التي يمكن استخدامها في أنواع معيّنة من المفاعلات ، فإن ما تضمّه الأرض من المحروقات النووية يعادل ملايين المرات المحروقات الاخرى كالنفط ، والفحم ، وسواهما ..) .

المصادر الاخرى للطاقة

إلى جانب الطاقة النووية ، يتزايد الاهتمام بمصادر أُخرى غير تقليدية ونشير هنا إلى بعضها :

- الطاقة الشمسية .
- الطاقة الحرارية الأرضية .
- الطاقة الناشئة عن حركة المدّ والجزر والأمواج .
- طاقة الريح .
- الطاقة البيولوجية .

لقد خطت البحوث في بعض هذه المصادر بعض الخطوات الاولى . ولكن النتائج الحاصلة حتى الآن لا تعطي أهمية عملية لأيّ منها باستثناء الطاقة الشمسية التي تبشّر ببعض الإيجابية ، إلاّ أن تحسين المردود لتقنيات الطاقة الشمسية ما زال يواجه الكثير من العقبات .

طريقة استعمال الطاقة والاقتصاد في استعمالها

تمّ التركيز في ما تقدّم على الآفاق التي يوفرها العلم والتقنية في سبيل زيادة إنتاج الطاقة . لكن من المهم أيضاً ، توجيه البحث والتطور

لتقليل الطلب على الطاقة وتأمين استعمال أفضل لها .

ويجب التشديد دائماً على ان أمر ادخار موارد الطاقة الطبيعية يتعلق أولاً بأجهزة إنتاج وتحويل الطاقة المستخرجة من هـــذه الموارد . ومن الضروري في الأبحاث الدائرة حول هذا الموضوع ألاّ يؤدي الاهتمام بادخار الطاقة للمدى القصير إلى تجاهل تطوير مواردها للمدى الطويل .

فخلال العديد من السنوات ، أدّى انخفاض سعر النفط إلى المبالغة في استعمال الطاقة ، ووصل الوضع أحياناً إلى حدّ الإفراط . ذلك رغماً عن كون التطورات الحاصلة في الوسائل الصناعية قد سمحت باستعمال الطاقة بشكل أفضل ونتيجة لذلك ، كانت الأبحاث الهادفة إلى تحسين استعمال الطاقة شبه منعدمة . وبفضل الصعوبات في ادخار النفط وارتفاع سعره ارتؤي تطوير أعمال « البحث والإنماء » المهتمة بادخار الطاقة . ولكن كل ذلك لم يحصل إلاّ مؤخراً .

ويمكن أن يفسّر هدف ادخـــار الطاقة بتفسيرات عديدة . فباستطاعتنا مثلاً أن نقصد من وراء ذلك إلى تقليل استعمال الطاقة في مجموعها أياً كانت مواردها ، وذلك رغم أن مختلف موارد الطاقة ليست متعادلة . وبشكل أدقّ ، تبدو بعض الموارد نادرة أكثر من غيرها ، ويمكننا بالتالي أن نسعى إلى استبدالها بموارد أُخرى أوفر وجوداً : مثلاً ، من الممكن أن تؤدي المشاكل القائمة في الميزان التجاري نتيجة استيراد النفط إلى استبداله بطاقة ذات مصدر نووي . ويمكن بالشكل ذاته ، أن يقدّر تطور الطاقة الشمسية كتوفير لموارد الطاقة الاخرى .

ويجب التذكير كذلك بأن التعاون بين العلم والتقنية في استعمال الطاقة قليلٌ نسبة للتعاون الحاصل في ميدان إنتاج هـــذه الطاقة . ونضيف بأن المستهلكين المختلفي الأوضاع يلعبون ، أيضاً ، دوراً لا يقلّ أهمية في هذا الموضوع ، خاصة وان دورهم على المدى الطويل هو

الأكثر تأثيراً . ويجب أن نشير ، على هذا الصعيد ، إلى ما يقدمه الوضع الحالي من إمكانيات فريدة تخدم البحث الاختباري في العلوم الاجتماعية. فنحن ، مثلاً ، نتوق إلى الاستفادة من دراسة أعمق لنتائج الحث على الادخار ، أو لنتائج أُخرى بهدف خفض استهلاك الطاقة والإقلال من استعمال السيارات ، أو لاستعمالها بشكل أفضل .

ويمكننا في تجاوز هذه الحدود أن نرى ما للعلم وللتقنية من قدرة على المساهمة الفعالة في تحسين استعمال الطاقة ، كما نرى بأن على أعمال « البحث والإنماء » أن تكون أكثر تطوراً في هذا المجال . لكن المشكلة تقع في كون هذا الميدان يشمل تطبيقات عديدة ومختلفة ، مما يجعل من الصعب والتسائك تحديد المظاهر العلمية والتقنية في هذا الميدان . ويلزمنا بالتالى مجهود جبّار لتركيز الأفكار من أجل الوصول إلى تحديد الطرق الجيدة التي يجب أن تنطلق فيها أعمال « البحث والإنمـــاء » .

ونشير في المقاطع التالية إلى بعض الملامح العامة لاستهلاك الطاقة في قطاعات الاستعمال المهمة ، وهي : القطاع المنزلي ، والتجاري ، والزراعي ، والصناعي وقطاع وسائل النقل .

١ ـ القطاع المنزلي والتجاري :

يمكن لعدة تجديدات أن تساهم ، في هذا القطاع ، في تحسين استعمال الطاقة بشكل محسوس . لكن يبدو أن بمقدور الادخار في استعمال الطاقة أن يتوفر ، خاصة في قسم تدفئة الأماكن وتكييف حرارتها . ونذكر بادىء ذي بدء أن الطاقة الشمسية قادرة على أن تساهم مساهمة فعالة على الأخص في هذا المجال للسنوات العشر القادمة .

ويمكننا أن نذكر أيضاً ، أن من أهم الإمكانيات الاخرى التي يوفرها العلم والتقنية في هذا المجال : وسائل وتقنيات البناء التي

تؤمن أفضل عزل حراري أولاً ، وثانيـاً تحسين مردود آجهزة التدفئة والتكييف (مثلاً : في تعميم استعمال المضحات الحرارية) .

ومن ناحية أُخرى ، تلعب هندسة الأبنية ، وتشكلها العام أيضاً ، دوراً كبيراً في استهلاك الطاقة . لذا كان من الضروري الاهتمام بدراسة البناء من وجهة النظر هذه .

وإضافة إلى الاهتمام ببحث أُمور التقنيات ، يجب أن ينصبّ البحث أيضاً على دراسة تصرّفات وسلوك مستهلكي الطاقة في القطاع المنزلي والتجاري . يجب مثلاً أن تتمّ توعية عامة للمستهلكين بإمكانية ادخار الطاقة ، وذلك بانتقاء مدروس لآلاتهم المنزلية وأُجهزة التدفئة ، وكذلك في طريقة استعمال هذه الآلات وإمكانية التخفيف أو الحد من استعمال آلات التدفئة ، وذلك باستبدالها باسلوب متّبع لألبسة تتكيَّف مع برودة المكان وحرارته .

٢ ـ قطاع الزراعة :

لم تتخذ الزراعة حتى الآن أهمية كبيرة ضمن الدراسات الهادفة إلى ادخار الطاقة . مع العلم ، انها أخذت ترتكز في البلاد المتطورة ، أكثر فأكثر ، على الاستعمال المكثَّف للطاقة الناتجة عن المحروقات الاحفورية (تضاف هذه الطاقة إلى الاستعمال الطبيعي للطاقة الشمسية) .

ولا نملك في هذا القطاع معلومات دقيقة تحـدد كمية الطاقة المستهلكة من قبل الجرارات ومن قبل مختلف الأسمدة والمواد كمقاوم الطفيليات ومبيد الأعشاب . وتستحق هذه المسألة بحدّ ذاتها دراسات متعمقة . ويظهر من بعض المعطيات لعام (١٩٧٠) أن بريطانيا تستهلك سنوياً في الزراعة طاقة لا تقلّ عن (١٩٧ × ١٠ ^١٥^) « جول » بينما يبلغ استهلاك الولايات المتحدة في المجال ذاته (٢،٢ × ١٠ ^١٨^) « جول » ، أي ما يعادل تقريباً (٣،٨٪) من استهلاكها العام للطاقة .

وتصبح هذه الأرقام أكثر أهمية إذا جمعنا في قطاع الزراعة حاجات الصناعة الغذائية ، وتخزين الأطعمة وتحضيرها منزلياً . وفي سنة (١٩٧٠) بلغ استهلاك الولايات المتحـــدة للطاقة في القطاع الغذائي (٩،١ × ١٠ ^١٨) « جول » . أي بنسبة (١٥،٦٪) من الاستهلاك العام للطاقة . ويتعلق هذا الوضع مباشرة بالأبحاث الهادفة منذ عشرات السنين إلى زيادة إنتاجية الزراعة وقطاع التغذية

ويمكننا الإشارة في جميع الأحوال ، إلى كون « الثورة الخضراء » في الأساس هي طريق البلاد النامية إلى الزراعة المبنية على الاستعمال المكثّف للطاقة متشبهين في ذلك بالبلاد المتطوّرة .

ويمكن لعدد من الاكتشافات الجديدة أو الابتكارات أن يؤدي إلى بعض الادخار في الطاقة . فمثلاً ، بإمكاننا أن ندخر الطاقة باستبدال الأسمدة الكيميائية بأسمدة طبيعية . ويمكننا أيضاً الإقلال من استهلاك الطاقة في إنتاج واستعمال مقاومات الطفيليات الكيميائية ، وذلك بتطوير المقاومات البيولوجية (مثلاً المقاومات التي تعقّم الذكور) . ويمكن اتباع وجهة أخرى في البحث ، وهي تنمية نباتات تحتوي على بروتينات أكثر تستطيع مواجهة الأمراض وتسهل معها بالتالي عملية الحفظ (ممـــا يخفّف أيضاً من الطاقة المستعملة في المعاملات الكيميائية لحفظ أسلم) . ويمكن للأبحاث على المدى الطويل أن تتعرّض كذلك إلى زيادة مردود عملية التخليق الضوئي

وعلى جهود « البحث والإنماء » أن تهتمّ أيضـــاً بخفض نسبة استهلاك الطاقة ، إن في الصناعة الغذائيـــة العامة أو حتى المنزلية . وباستطاعتنا دائماً ، أن نعتبر هذه الاستعمالات داخلة في إطار القطاع الصناعي والقطاع المنزلي والاقتصادي .

٣ ــ قطاع الصناعة :

قبل بدء الكلام عن أعمال « البحث والإنماء » ، علينا بالإشارة إلى اننا بتطبيقنا الجيد للتقنيات الموجودة حالياً نستطيع أن ندخر في الطاقة . علينا إذن الاهتمام بإزالة الحواجز والموانع التي تقف حائلاً دون تطبيق التقنيات والطرق الأفضل التي تؤدي بالتالي إلى استعمال أتمّ للطاقة .

ويجب أن تتحدد الأبحاث الواجب البدء فيها ، على ضوء تحليل دقيق لمختلف الطرق الصناعية . لكننا نستطيع أن نذكر اتجاهات عامة ضرورية في حالات عديدة منها :

- إزالة كل خسارة للحرارة : يمكن الانتباه في هذا المجال إلى استعمال مضخات كبيرة للحرارة ، وتحسين عمليات التبادل الحرارية وكذلك عزل الأفران والأقنية .
- طرق جديدة للتدفئة وتطوير التقنيات الحالية : يمكننا هنا ، أن نذكر تطوُّر تقنيات الاشتعال وتطوُّر عملية التدفئة بواسطة التأثير ، وأجهزة التدفئة بواسطة إشعاع التواتر والموجات الدقيقة ، وتطور عملية اللحم بأشعة لايزر أو الحزم الالكترونية ...
- تطوير طرق الصناعة التي لا تتطلب كثيراً من الطاقة : مثالنا على ذلك ، إنتاج القصدير عن طريق اختزال كلورور الحديد بواسطة الهيدروجين ، بدل اتباع الطريقة الحالية التي تنصّ على اختزال ركائز الحديد بواسطة الفحم في أفران عالية الحرارة .

٤ ــ قطاع النقل :

يأخذ البحث المتعلق بادخار الطاقة في قطاع النقل أهمية بالغة ، إذ توضع معظم الطاقة الآلية الضرورية في النقل داخل المحركات التي

تستعمل محروقات ذات أساس نفطي ، وذات مردود دينامي – حراري ضئيل نسبياً ومن ناحية أخرى ، يحتوي قطاع النفط على تنوّع كبير في المؤسسات العامة والخاصة التي تنتج لائحة عريضة من المواد وتؤدي عدداً من الخدمات . إذن ، يمكن أن تنطلق الأبحاث الهادفة إلى ادخار الطاقة ، في ثلاثة اتجاهات كبيرة : تطوير التقنيات ، وتدابير تشريعية ، وتغييرات على صعيد المؤسسات .

ويدخل في باب تطوير التقنيـــات تحسين السيارات ، وأجهزة المراقبة ، وإنشاء وصيانة الطرق ، وكذلك صيانة المحطات النهائية بهدف خفض استهلاك الوقود .

وتشمل التدابير التشريعية للتقنين في استهـــلاك المحروقات ، التحديد في امتلاك السيارات وفي استعمالها ، وزيادة الضرائب على السيارات والوقود . بينما تحتوي المؤسسات على مجموعة معقدة من العلاقات تدخل فيها البنية الحكومية وشركات النقل والنقابات والأنظمة السياسية والمساعدات المالية والاتفاقات الدولية . وكل هذه تشكل الاطار الذي تدور في داخله مختلف وسائل النقل .

إن جميع الإجراءات الممكن تغييرها ضمن هذه الاتجاهات قادرة على أن تؤدي إلى الاقتصاد في الطاقة ، لكن من المهم ألاّ يتخذ أيّ إجراء في هذا الخصوص دون التيقن مسبقاً من نتائجه .

ومن الممكن أيضاً في دراسة دقيقة لوسائل النقل ، الاقتصاد في الطاقة . وينبغي من أجل ذلك التوصّل إلى عملية النقل المشترك ، داخل المدينة وفي الانتقال إلى الضواحي وفي نقل البضائع ، أو في تصغير حجم السيارات والإقلال من وزنها بحيث تستهلك كمية أقلّ من الوقود .

جدول رقم (٢)

مجموع نفقات بعض الدول الصناعية
في أعمال الكشف واستخدام الأورانيوم

الدولة	مجموع النفقات		ملاحظات
المانيا الغربية	٢٨٠٠٠٠٠٠	مارك	لسنة ٧٣ – ١٩٧٤
كندا	٨٦٢٠٠٠	د. كندي	لسنة ٧٣ – ١٩٧٤
الولايات المتحدة	١٢٠٠٠٠٠	د. اميركي	لسنة ١٩٧٤
اليابان	٣٠٣٠٠٠٠٠٠	ين	لسنة ١٩٧٤
المملكة المتحدة	٢٤٠٠٠٠	د. اميركي	لسنة ١٩٧٤
السويد	٢٦٠٠٠٠٠	كراون	لسنة ١٩٧٤
سويسرا	١٠٠٠٠٠	فرنك	في السنة

جدول رقم (٣)

نفقات بعض الدول المتقدّمة في بعض قطاعات الصناعة النووية لسنة (١٩٧٤)

الدولة	تغذية الاورانيوم	مفاعل بمياه خفيفة	مفاعل بمياه ثقيلة	مفاعل مفرط الفعالية	نشاطات اخرى
ألمانيا	١١٤ مليون مارك	٢٣ مليون مارك	١٩٩ مليون مارك	٢٦١ مليون مارك	٢٦٢ مليون مارك
بلجيكا	٧٥٠٠ مليون فرنك	١٦٥ مليون فرنك	٢٠ مليون فرنك	٧٠٠ مليون فرنك	٢٧١ مليون فرنك
فرنسا	*	١٠٠ مليون فرنك	*	٤٠٠ مليون فرنك	٢٧٧ مليون فرنك
اليابان	٩٧٩٩ مليون ين	٣٤٨ مليون ين	٣٦٧ مليون ين	١٢١١٥ مليون ين	١٩٦٢٩ م. ين
هولندا	*	—	—	٨٥ مليون فلورين	—
السويد	—	٢٥ مليون كراون	—	٣ ملايين كراون	٢٨ مليون كراون
المملكة المتحدة	١٠ ملايين دولار	—	١٢ مليون دولار	٨٠ مليون دولار	٦٢ مليون دولار
الولايات المتحدة	**	**	٤١ مليون دولار	٣٥٧ مليون دولار	١٩٥ مليون د
سويسرا	—	—	٥ ملايين فرنك	٤٠ ألف فرنك	١٠ ملايين فرنك

(*) بالتعاون مع منظمات دولية .

(**) ارقام غير متوفرة .

جدول رقم (٤)

نفقات بعض الدول المتقدمة في الطـاقة الشمسية والطاقة النووية لسنة (١٩٧٤)

الـــدولـــة	الطاقة الشمسية	الطاقة النـــووية
المانيا	٣ ملايين مارك	١١٢١ مليون مارك
بلجيكا	٢ مليون فرنك	٨٩٢٧ مليون فرنك
فرنسا	٨ ملايين فرنك	١٠٥٤ مليون فرنك*
اليابـــان	٨٧٣مليون ين	٥٠٩٨٧مليون ين
هولنـــدا	—	٨٥ مليون فلورين*
السويـــد	٣٠ ألف كراون	٨٤ مليون كراون
المملكة المتحدة	٧٦٨ألف دولار	٢٢٦ مليون دولار
الولايات المتحدة	١٤ مليون دولار	٧٨٨ مليون دولار*
سويسرا	١٠٠ألف فرنك	٢٥ مليون فرنك

(*) مبالغ غير احمالية .

من الاورانيوم المشع
الى القنبلة الذرية

المواد المشعّة

يردّ بعض مؤرخي العلوم اكتشاف المواد المشعة إلى سنة (١٨٩٦) . ففي هذه السنة أثبت العالم الألماني رونتجن وجود نوع غير معروف من الأشعة يخترق الورق والخشب وجسم الإنسان والصفائح المعدنية الرقيقة . وعرفت هذه الأشعة بأشعة رونتجن . وقد تبين بعد سلسلة من الاختبارات أن هذه الأشعة تنبعث من بعض الأجسام دون الاخرى ، ومن هده الأجسام : أملاح الأورانيوم والبوتاسيوم .

وقد اهتّم السيد والسيدة كوري ، الفيريائيان الفرنسيان ، بدراسة المواد المشعة وتوصّلا في نهاية القرن الماضي إلى الحصول على(١ ، ٠)غرام من ملح كلوريد الراديوم ، استخرجاه من طن من المواد المتعـــة . وقد أثبتا أن مادة الراديوم هذه تملك نشاطاً إشعاعياً أقوى من نشاط الأورانيوم بملايين المرات

وكانت أول حادثة معروفة عن تأثير الإشعاع على جسم الإنسان قد حدثت لأحد العلماء الباحثين في هدا الميدان . فقد حمل الفيزيائي الفرنسي هنري بكريل في جيبه أنبوبة صغيرة من أملاح الراديوم ، وبعد بضع ساعات ظهر حرق شديد على جلد جسمه الدي يقع تحت الجيب مباشرة ... ولم يلتئم هذا الجرح إلاّ بعد شهور عديدة .

كما لاحظ بيير كوري بعد ذلك خاصةً أُخرى للمواد المشعّة . فالمادة المشعة تملك حرارة أعلى من الحرارة المحيطة بها . وقد أثبت بالتجربة أن غراماً واحداً من الراديوم يستطيع تسخين (٢٠٠) غرام من الماء حتى درجة الغليان خلال أيام قليلة ، وذلك دون أن يحدث أي تغيير في حرارة الراديوم الذاتية . إن الأجسام العادية الاخرى لا تملك كما نعلم خاصة كهذه ، إذ أن الجسم الساخن يتبادل الحرارة مع ما يحيط به إلى أن يبلغ حد الاستقرار الحراري ، أي إلى أن يبرد .

وفي سبيل توضيح خصائص هذه الأشعة الغامضة ، أُجريتْ التجربة التالية : تمّ تمرير الأشعة الصادرة عن جسم مشع بين قطبي مغنطيس قوي . وقد تبيّن أن هذه الأشعة انحنت بعد عبور الحقل المغنطيسي وانقسمت حزمة الأشعة إلى ثلاثة أقسام :

- قسم قليل الانحناء ، وقد سميت هذه الأشعة بأشعة « ألفا » α
- قسم كبير الانحناء ، وسميت أشعتـــه بأشعة « بيتا » β .
- وقسم لم ينحن إطلاقاً ، وسميت أشعته أشعة « غاما » γ .

وقد استنتج العلماء من ذلك أن تلك الأشعة الغامضة ليست سوى تيار من الجسيمات المشحونة . أما تأثير المغنطيس فقد أظهر أن أشعة ألفا تحمل الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة ، وأشعة بيتا تحمل الجسيمات المشحونة بشحنة سالبة . ولما كان الجسيم المشحون سلباً (الإلكترون) أخفّ وزناً وأكبر سرعة من الجسيم المشحون إيجاباً ، نتج عن ذلك انحناء لأشعة بيتا أكبر من انحناء أشعة ألفا . أما أشعة غاما ، فقد أثبت العالـِم الانجليزي « روذفورد » أنها عبارة عن ذبذبات كهرومغنطيسية ذات تردد عالٍ ، تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء .

أما من ناحية قدرة هذه الأشعة على النفاذ عبر الأجسام ، فقد تبيّن أن أشعة ألفا قليلة النفاذ ، بعكس أشعة بيتا الخطرة . في حين أن أشعة غاما هي الأخطر ، إذ أنها تملك قدرة على النفاذ في الأجسام تزيد (٢٠) ضعفاً قدرة أشعة بيتا .

بقي السؤال : لماذا تنبعث من المواد المشعة ثلاثة أنواع من الأشعة ، في حين يبدو حسب النتائج التي أشرنا إليها أنه يجب أن تشعّ جسيمات ألفا وبيتا فقط ؟

يعود الفضل الأول في الإجابة على هـذا السؤال إلى روذفورد ومعاونيه . فقد تبين لهؤلاء أن ذرّات المواد المشعّة ليست ذات تكوين ثابت ، بل إنها تملك خاصية الانقسام ، إنها مصدر لعناصر جديدة كغازات الرادون والهليوم والراديوم – (A) ، التي تملك بدورهـا قدرة إشعاعية كما تملك القدرة على الانقسام وتوليد عناصر جديدة ...

وهكذا يجب التمييز بين المادة المشعة الأولى ، والمواد المشعة الثانية (المتولدة من الاولى) . فالاولى تعطي أشعة α و β دون سواهما . أما الثانية فهي التي تعطي أشعة γ .

وتملك العناصر المشعة ، إضافة إلى ما سبق ، خاصية أُخرى ذات علاقة بالطاقة . فقد رأينا سابقاً أن هذه المواد تملك في ذاتها حرارة عالية : إن غراماً واحداً من الراديوم يعطي في الساعة الواحدة (١٣٦) سعراً حرارياً (كالوري) .

وقد قام بعضهم بحساب كمية الحرارة التي يعطيها هذا الغرام من الراديوم بعد أن تنقسم كل ذراته ، فبلغت (٢٨٠٠٠٠٠) سعر حراري أي نفس كمية الحرارة التي تنتج عن حرق (٤٠٠) كيلوغرام من الفحم . هذه الطاقة قادرة على تشغيل محرك تصل قوته إلى عشرات الأحصنة .

الــذرّة

أثبت روذفورد بعد سلسلة من التجارب أن الذرّة تملك في داخلها نواة ثقيلة تحمل شحنة موجبة والكترونات خفيفة تحمل شحنة سالبة تدور حول النواة كما الكواكب حول الشمس .

ولكي نعطي فكرةِ عن أحجام هذه الجسيمات ، فإننا سنتصورّ أن للذرّة حجماً يعادل حجم الكرة الأرضيــة ، وأن الالكترونات تتدحرج على سطحها بحجم يعادل حجم كرة القدم . ويكون للنواة في هذه الحالة حجم كرة قطرها (١٣٠) متراً وتقع تماماً في مركز الكرة الأرضية . أما ما بين النواة والالكترونات فمراغ تام يزيد قطره على (١٠٠٠٠) كيلومتر . أما وزن النواة فيبلغ (١١٤) مليون طن للسنتيمتر المكعّب الواحد .

إن أبسط الذرّات تركيباً هي ذرة الهيدروجين . إنهـا تحوي الكتروناً واحداً يدور حول النواة التي يساوي وزنها (١٨٣٦) مرة وزن الإلكترون . تأتي ذرة الهليوم مباشرة بعد الهيدروجين في الترتيب ، إذ تملك إلكترونين اثنـين ونواة تساوي في الوزن أربع مرات نواة الهيدروجين . أما الأورانيوم الذي يهمنا بصورة خاصة ، فإن ذرته تملك (٩٢) الكتروناً تدور حول نواة تزن ما معدله (٢٣٨) مرة نواة الهيدروجين (البروتون) . وفي كل الحالات يكون مجموع شحنـات الكترونات السالبة متوازياً تماماً لشحنة النواة الموجبة ، أي أن الذرّة تبقى ككل متعادلة كهربائياً .

ولإعطاء فكرة أدقّ عن حجم الذرّة وعناصرها نشير إلى أن قطر نواة الهيدروجين يبلغ حسب آخر المقاسات (١،٨ × ١٠ــ١٤) سنتيمتر ، وقطر الألكترون (٥،٦ × ١٠ــ١٣) سنتيمتر . أما وزن النواة فهو (١،٦٧ × ١٠ــ٢٤) غرام ، ووزن الإلكترون فهـو

(٩،١١ × ١٠ $^{-28}$) . وتبلغ المسافة بين النواة والإلكترون مليون مرة قطر النواة ، ومع ذلك فإن القطر الإجمالي للذرّة بكاملها يبقى في حدود جزء من مائة مليون من السنتيمتر .

١ ـ تأثير الأشعة على الذرّة :

لقد رأينا أن المواد المشعّة تعطي جسيمات α و β ، فماذا يحدث للذرّة إذا سلّطنا عليها هذه الجسيمات ؟

تبدو الذرّة كما لو كانت محمية بدرع مزدوجة: فالغـــلاف الالكتروني يحميها من نفاذ الالكترونات إلى داخلها ، والنواة بشحنتها الموجبة تملك قوة تنافر تدفع عنها الايونات (ذرّة فقدت بعامل مّا بعضَ الكتروناتها) التي قد تنفذ عبر الغلاف الالكتروني .

إن قذف الذرّة بجسيم من أشعة α أو β يؤدي إلى نتائج تختلف باختلاف سرعة وكتلة الجسيم . فجسيمات ألفا أثقل من الالكترونات بسبعة آلاف مرة تقريباً وهي تندفع بسرعة تقلّ عن سرعة الالكترونات بخمس عشرة مرة تقريباً . ولهذه الجسيمات إذن قدرة على النفاذ داخل الـــذرّة .

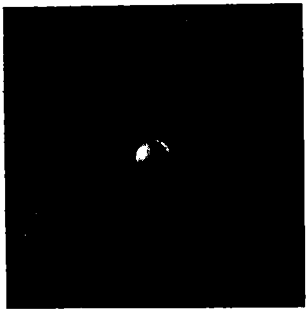
وقد أجرى روذفورد عام (١٩١٩) بعض التجارب في هذا المجال ، وتوصّل إلى نتيجة باهرة ، إذ وصل جسيم إلى نواة ذرّة الأزوت وفصل منها بعض البروتونات (أي أجزاء تعادل نواة ذرّة الهيدروجين الصغيرة) . وقد توالت بعد ذلك ، وعلى أيدي علماء آخرين ، عمليات تحطيم نوى ذرّات أخرى كالألمونيوم وغيره من الذرّات الخفيفة ، وإلى فصل بعض البروتونات عنها .

لقد بيّنت القياسات الدقيقة لطاقة البروتون عند خروجه من النواة بفعل أشعة أن هذه الطاقة تفوق طاقة جسيم الذي تسبّب في خروج

البروتون من النواة . وقد أدّت هذه الملاحظة إلى نتيجة هامة : ان نواة ذرّة مادة ما ، حتى ولو لم تكن مشعّة ، تشكّل مصدراً هاماً للطاقة إذا أخضعناها لظروف ملائمة .

ولإيضاح ذلك نقدم المثل التالي : إن تحطيم نواة الألمونيوم وفصل بروتون عنها بواسطة أشعة يتطلبان بذل طاقة مقدارها (٧،٧) مليون الكترونفولت . أما الطاقة التي تصاحب هذا التحطيم فتبلغ (١٠،٧) مليون الكترونفولت . أي أن عملية قذف نواة الألمونيوم بأشعة قد ولّد طاقة صافية مقدارها ثلاثة ملايين الكترونفولت . وبمقارنة هذه الطاقة بتلك الناتجة عن إحراق الفحم ، نجد أنها تفوق طاقة الفحم بـ (٧٠٠) ألف مرّة .

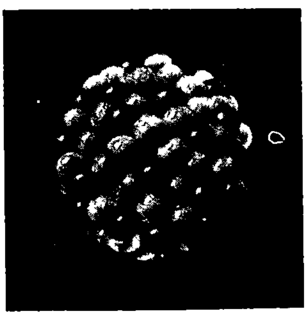
إن هذه النتيجة الباهرة بقيت ذات قيمة نظرية بحتة مدة طويلة من الزمن . والسبب في ذلك أن العلماء في تلك الفترة لم يحسنوا تركيز أشعة في عملية قصف الذرّة . لقد كانوا يعمدون إلى توجيه مليون جسيم من أشعة لكي يتوصل (٢٠) جسيماً فقط لإصابة الهدف . وكانت الطاقة المستعملة لإطلاق المليون جسيم دون الطاقة الحاصلة من العشرين جسيماً التي أصابت الهدف . وكان الحساب الإجمالي ، عملياً ، يشكّل بذلاً في الطاقة أكبر من الكسب المتوقع .



نواة الهيدروجين
بروتون واحد



الأوكسجين
٨ بروتونات ، ٨ نوترونات

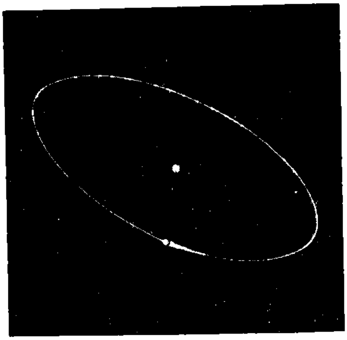


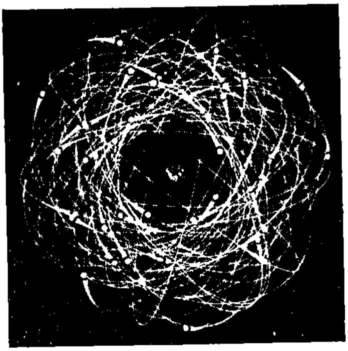
الأورانيوم ٢٣٨
٩٢ بروتوناً ، ١٤٦ نوتروناً

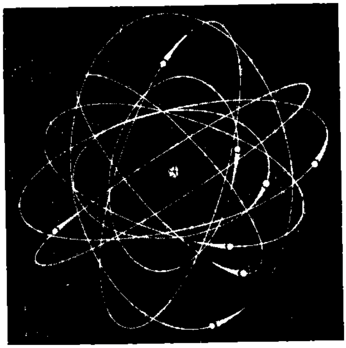
مقابلة بين النواة في ذرة الهيدروجين ،
الأوكسجين والأورانيوم ٢٣٨

وحوالي سنة (١٩٣٠) ، لاحظ بعض العلماء في المانيا وفرنسا أن بعض الذرّات الخفيفة تمتلك قدرة خفيفة على الإشعاع بعد قذفها بأشعة ألفا لا تملكها عادة قبل عملية القذف تلك . وقد عرّضت مادة البرافين التي تحتوي على الهيدروجين لتلك الأشعة الغامضة، فنتج عن ذلك تطاير لوى الهيدروجين بفعل تلك الأشعة . وقد أثبتت بعض التجارب الإضافية أن هذه الأشعة الجديدة تختلف أساساً عن أنواع الأشعة المعروفة

وقد أوصلت هذه التجارب العلماء إلى تقديم تفسير لهذه الظاهرة غير المعروفة من قبل . ويقول التفسير إن النواة تحتوي إلى جانب البروتون ذي الشحنة الموجبة جسيماً يعادل البروتون في الكتلة ، ولكنه يختلف عنه من حيث أنه لا يحمل أية شحنة كهربائية ، ويسمى النترون . ويستطيع النترون عند انطلاقه بسرعة كبيرة إخراج نواة الهيدروجين من مادة البرافين ، إذ أن لافعاليته الكهربائية تسمح له بالتفاعل مع البروتون دون أي عائق من عوائق التنافر المألوفة بين جسمين يحملان نفس الشحنة .







مقابلة المدارات في ذرات الهيدروجين ،
والأورانيوم ٢٣٨ الأوكسجين

ينفذ النترون أولاً عبر الغلاف الالكتروني للذرّة بسهولة ، لأنه لا يتأثر إطلاقاً بالالكترونات . وعندما يقترب النترون من النواة يدخل في مجال تأثير قوى مختلفة عن كل القوى المعروفة تسمى القوى الداخلية للنواة (وهي غير قوى التنافر أو الجذب الكهربائية وغير قوى الاحتكاك) إنها القوى التي تربط البروتونات وتحفظ للنواة شكلها المتماسك .

وينجذب النترون إلى داخل النواة بفضل هذه القوى ، ويؤدي هذا الدخول إلى اختلال التوازن داخل النواة وإلى حالة هياج ترتفع أثناءها

درجة الحرارة مليار درجة مئوية ، مما يؤدي إلى انسلاخ بعض الجسيمات عن النواة . ويتمّ ذلك بسهولة أكبر كلما كانت النواة أصغر . وهذا ما يفسّر انسلاخ بروتون الهيدروجين في مادة البرافين في التجربة المشار إليها أعلاه .

٢ ـ المدفعية الذرية :

بيّنت التجارب التي أشرنا إليها سابقاً أن قصف الذرّة بأشعة أو أشعة يستوجب دقة في التسديد . وقد رأينا أن زيادة كل من طاقة وسرعة الجسيمات التي تحملها هذه الأشعة تزيد في إمكانية وضمان إصابة الهدف .

ولقد بدأ العلماء منذ الثلاثينات في تصميم آلة خاصّة لتحقيق ذلك ، وقد سميت هذه الآلة « معجّل الجسيم » . وتطور العمل في تصميم هذه الآلة منذ ذلك في اتجاهين : معجّل الجسيمات الثقيلة ومعجل الالكترونات .

إن التحولات الأساسية في النواة تحدث باشتراك الجسيمات الثقيلة ، ولذلك أحدثت تصميمات متعددة لجسيمات ألفا والبروتونات وغيرها . ويتم تعجيل هـذه الجسيمات المشحونة بواسطة المجال الكهربائي . أما تغيير الاتجاه فيتم باستخدام المجال المغنطيسي أو المجال الكهربائي أو المجالين معاً .

وأكثر المعجّلات انتشاراً هو السيكلوترون الذي يستعين بالمجال الكهربائي لتعجيل الالكترونات التي تبدأ دورانها تبعاً لأقواس دائرية بتأثير مجال مغنطيسي ، ثم يزداد قطر هذه الدوائر مع تزايد سرعـة الالكترون حتى يأخذ مسار هذه شكلاً حلزونياً .

وهناك إلى جانب السيكلوترون معجل أقلّ استعمالاً هو المعجل الخطي . ويتألّف هذا المعجل من انبوبة مستقيمة يقارب طولها المائة متر

فارغة تماماً حتى من الهواء . نضع في داخل هذه الانبوبة أنابيب قصيرة من النحاس مختلفة الأطوال . وتعطي الأيونات الموجبة عند مدخل المعجل طاقة تبلغ (٢٠٠) ألف الكترونفولت . ويجري تغيير الجهد الكهربائي بانتظام عند أطراف الأنابيب ، فيصبح الجهد موجباً ثم سالباً ثم موجباً .. إن تغيير الجهد الكهربائي عند « أقطاب » الأنابيب يؤدي إلى تزايد سرعة الجسيم المشحون بين قطب وآخر . ويتم ذلك بوضع شحنة سالبة قوية أمام الجسيم بعد مروره بقطبين متتاليين .

وبهذه الطريقة ، توصّل مصممو المعجل الخطي إلى إكساب الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة طاقة تصل إلى عشرات الملايين من الالكترونفولت . ويمكن زيادة هذه الطاقة إلى مليارات الالكترونفولت عن طريق زيادة طول المعجل .

وفي سنة (١٩٣٤) استعمل العالم الايطالي أنريكو فرمي النترونات لقذف ذرّات مواد مختلفة ، وتوصّل بذلك إلى الحصول على المواد المشعّة صناعياً . ثم عمد إلى قصف الاورانيوم نفسه بهذه النترونات وتوصّل ، بفضل امتصاص الأورانيوم لهذه النترونات ، إلى مواد جديدة غير موجودة في الطبيعة أثقل من الأورانيوم . وقد سمّيت هذه المواد بمواد « ما بعد الاورانيوم » . وتبيّن نتيجة لدراسة هذه المواد أنها تملك قدرة إشعاعية أكبر من قدرة الاورانيوم الطبيعي . وقد انتهت سلسلة التجارب هذه بنتيجة هامة : ان النترون يشطر نواة الاورانيوم إلى شطرين ، وإن عملية قصف نواة الاورانيوم بالنترون تولد طاقة هائلة ، تفوق بمئات المرات الطاقة التي تنتج عن قصف النواة بأشعة ألفا .

٣ ـ المفاعل النووي :

كانت تجارب أنريكو فرمي في أساس تصميم المفاعل النووي بمفهومه الحديث .

وإذا بقي ما عرضناه في إطار التبسيط النظري ، فإن الواقع ليس كذلك . فقد سعى فرمي إلى الحصول على قدر أكبر من الطاقة ، وعمد من أجل ذلك إلى عدم الاكتفاء بعملية قصف واحـــدة لنواة الأورانيوم بل إلى الحصول على سلسلة من التفاعلات المتكرّرة .

وقد استعمل لذلك كتلاً كبيرة من الأورانيوم . وتوصّل إلى سلسلة من انقسامات نوى الأورانيوم التي تجري تباعاً بمعدّل جزء من ألف من الثانية لكل انقسام . وقد ارادادت ، نتيجة لذلك ، قدرة المفاعل عشرة آلاف مرة في غضون عشر ثوانٍ فقط .

وفي سنة (١٩٤٢) ، تمّت لأول مرة بنجاح عمليةُ أول تفاعل نووي متسلسل. فقد وضعت في « مرجل » المفاعل قضبان من الاورانيوم وأضيفت إليها ألواح مغطاة من الجانبين بطبقة من الكادميوم . والغرض من إضافة هذه الألواح هو حماية العلماء العاملين في المفاعل ، إذ أن مادة الكادميوم تمتص النترونات ، وخاصّة النترونات الناتجة عن انشطار نواة الأورانيوم . كما أُحيط المفاعل بكتل من مادة الغرافيت التي وضعت بحيث شكلت بئراً متماسكة مهمتها عكس النترونات وعدم تمكينها من الانفلات إلى الخارج .

وقد فتحت في جدران هذه البئر أنواع من الكوى تمتد إلى أعماق مختلفة . وتُستعمل هذه الكوى لإدخال آلات قياس مختلفة وحساسة مهمتها تسجيل ظهور الجسيمات المشعّة والنترونات التي تتوالد نتيجة التفاعل المتسلسل .

وكان حجم هذا المرجل الأول كبيراً نسبياً ، إذ بلغ (٩) أمتار طولاً و (٦،٣) أمتار عرضاً ، بعمق بلغ (٩،٦) أمتار . كما بلغ وزن المرجل الإجمالي (١٤٠٠) طن ، منها (٥٢) طناً من الأورانيوم النقي ومن اوكسيد الأورانيوم ، و (٤٧٢) طناً من الغرافيت .

٤ – القنبلة الذرية :

يحدث انقسام نواة واحدة من الأورانيوم (٢٣٥) في فترة قصيرة جداً لا تزيد على جزء من مئة مليون من الثانية . ويظهر عند انقسام النواة عدد ضئيل من النترونات ، لا يزيد على ثلاثة . ويقوم كل من هذه النترونات بتقسيم نواة جديدة . فإذا أخذنا كمية من الأورانيوم تبلغ كيلوغراماً واحداً وتحتوي على (٣ × ١٠ ٢٤) ذرّة ، فإن سلسلة من الانقسامات تؤدي إلى تحطيم نوى جميع هذه الذرّات . إن الوصول إلى هذه النتيجة لا يتطلّب أكثر من جزء من المليون من الثانية ، ولكنه يطلق طاقة مدمّرة تساوي الطاقة الناتجة عن (٣٠٠٠) طن من أقوى المواد الكيميائية المتفجرة .

إن هذا التصوّر النظري لا يحدث تماماً في الواقع . فإذا كانت كمية الأورانيوم صغيرة ، فإن النترونات الناتجة عن تقسيم النوى الأولى ، لن تقوم جميعها بتحطيم النوى الاخرى ، بل ستتطاير بعض النترونات وتنطلق خارج كتلة الأورانيوم . ولذلك فإن التفاعل المتسلسل في كتلة صغيرة لا يؤدي في الواقع إلى تحطيم جميع النوى.

المهمّ إذن، للحصول على النتيجة العظمى من كمية معطاة من الأورانيوم، هو أن تكون أبعاد كتلة الأورانيوم « مناسبة »، بحيث يكون عدد النترونات التي تظهر في الكتلة أكبر من عدد النترونات التي تنفلت خارجها . فما هو الحجم المناسب لكتلة الأورانيوم لتحقيق ما سبق ؟ لقد شكّلت الإجابة على هذا السؤال الصعوبة الكبرى لدى المصممين الأوَل للقنبلة الذرية .

وقد توصّل هؤلاء المصممون إلى تحديد الحجم المناسب وصنعوا قنبلتهم الذرية على الشكل التالي : قسموا كمية الأورانيوم (ذات الحجم

المناسب) إلى قسمين متواريين بحيث شكّل كل قسم نصف كرة ، وأبعدوهما الواحد عن الآخر بمسافة كافية .

في نصف الكرة الواحد ، لا تبلغ كمية الأورانيوم الحد الكافي للحصول على تفاعل متسلسل أي على طاقة كبيرة ، وبالتالي فإن الانفجار الذري المطلوب لا يمكن أن يحدث في كل من نصفَيْ الكرة المتباعدين . وبذلك تكون القنبلة غير خطرة . أما إذا قرّبنا النصفين الواحد من الآخر بسرعة كبيرة ، فإن التحامهمـــا سيعطي كتلة من الأورانيوم تساوي « الكتلة المناسبة » ، وسينتج عن ذلك ، التفاعـــل المتسلسل والكامل ويحدث الانفجار .

المفاعل النووي

أنواع المفاعلات

لقد توخينا فيما سبق التبسيط في العرض ، فتجاهلنا عمداً التفاصيل المعقدة .

من هذه التفاصيل العلاقة بين سرعة النترون وقدرته على تحطيم نوى الأورانيوم . فالنترون يتحرك ، ككل جسيم نووي آخر ، حسب طاقته بسرعات مختلفة كلياً . وهذه الطاقة يمكن أن تتراوح بين جزء من مائة من الالكترونفولت (نترون بطيء) ، وبين ما يزيد على المليون الكترونفولت (نترون سريع) . كما أن بعض النترونات ذات الطاقة الكبيرة ، تفقد الكثير من طاقتها ، وبالتالي من سرعتها ، بعد اصطدامها بنوى الأورانيوم .

ونوى الأورانيوم تكون أكثر تعرضاً للانشطار حسب السرعة التي يداهمها بها النترون المهاجم . فنوى الأورانيوم(٢٣٥) تقسم بسهولة لدى اصطدامها بنترون بطيء (طاقة ١ ،٠ الكترونفولت) . . أما نوى الأورانيوم (٢٣٨) فإنه أقدر على امتصاص النترون الذي تتراوح طاقته بين الكترونفولت واحد وسبعة .

من المهم إذن أن تكون لدينا القدرة على التحكم بسرعة النترونات ، ومن أجل ذلك أدخل العلماء في المرجل الذري ما يسمونه بـ « المبطيء » .

ويمكن تقليل سرعة النّترونات بنجاح عندما يكون لتصادم النّترونات مع النوى طابع المرونة ، أي عندما يرتد كل جسيم عن الآخر . بإمكاننا إذن أن نستخدم كمبطىء المواد التي لا تأخذ ذرّاتها أية نترونات . ويتمّ هذا إذا كانت كتلة نواة المادة مساوية لكتلة النّترون ، أي إذا استعملنا ذرات خفيفةً كذرّة الهيدروجين .

ولكي نقلّل سرعة النّترون المنطلق من انشطار نواة الأورانيوم إلى الحدّ المطلوب ، يكفي إجراء (٢٠) اصطداماً « مرناً » مع نوى الهيدروجين . وبإمكاننا أيضاً استعمال ذرّات الكربون لتقليل سرعة النّترون . ولما كانت نواة الكربون أثقل من نواة الهيدروجين ، فقد تبين أن على النّترون أن يصطدم (١٢٣) مرة مع نوى الكربون لكي نصل إلى نفس النتيجة . وقد تبيّن في النهاية ، ولاعتبارات عملية عدة ، أنّ أفضل مبطىء للنّترونات هو الهيدروجين الثقيل (الديوتريوم) الذي يدخل فيما نسميه اليوم بالمياه الثقيلة . كما أن العديد من العلماء يفضّلون استعمال الغرافيت بدل المياه الثقيلة لصعوبة تحضيرها وفصلها عن المياه العادية .

ويتمّ اليوم تصنيف أنواع المفاعلات وفق نوع المبطىء المستعمَل في هذه المفاعلات .

فإذا رتّبت كتل الأورانيوم المرشحة للانشطار في طبقات يفصل بين كل اثنتين منها مبطىء ، فإن المفاعل يسمّى في هذه الحالة بالمفاعل غير المتجانس .

أما إذا وضعنا الأورانيوم في المبطىء أو إذا كان مذاباً فيه ، فإن المفاعل يوصف في هذه الحالة بالمتجانس .

كما يمكن تصنيف المفاعلات وفق سرعة النّترونات في المرجل . ويمكن هنا الحديث عن مفاعل بنّترونات سريعة ، أو متوسطة السرعة أو بطيئة .

وهناك وسيلة ثالثة لتصنيف المفاعلات تعتمد كوسيلة للتصنيف الغاية التي يستعمل المفاعل من أجلها، ونعني في هذه الحالة : مفاعل إنتاج البلوتونيوم، أو مفاعل الأبحاث والدراسة، أو مفاعل للحصول على الحرارة، أو الكهرباء .. الخ .

١ ـ المفاعل الغرافيتي :

يستعمل هذا المفاعل الغرافيت كمبطىء، وهو أقدم المفاعلات المعروفة . وضع التصميم الأول له أنريكو فرمي وأنجز وعمل منذ سنة (١٩٤٢) كما رأينا .

يؤلف هيكل المفاعل إطاراً ضخماً مكوناً من عدد كبير من أنابيب الألومنيوم الطويلة والموضوعة في صفوف أفقية . تبقى هذه الأنابيب مفتوحة من الطرفين وتوضع فيها تباعاً اسطوانات تحتوي على الأورانيوم الطبيعي وتغلّف هي أيضاً بالألومنيوم . ولكن هذه الفتحات تقفل بسدادات سميكة أثناء عمل المفاعل بحيث تمنع الاشعاعات الخطيرة من التسرُّب إلى خارج الانبوب .

يوضع الأورانيوم في أنابيب الجزء الأوسط من المفاعل فقط، أي على عمق مترين إلى ثلاثة أمتار من جدران المفاعل . ويملأ الفراغ القائم بين الانابيب بكتل من الغرافيت النقي المحضر كيميائياً . ويسمح هذا التحضير الكيميائي بتخليص الغرافيت الطبيعي من الشوائب العالقة به. إذ أن وجود شوائب من مواد أُخرى يؤدي إلى امتصاص هذه الشوائب لبعض النترونات المتولّدة في الأورانيوم . إن كمية من الشوائب لا تتجاوز الواحد من المليون من الغرافيت قادرة على امتصاص عدد من النترونات، مما يمكن أن يقلّل من سرعة التيار المفيد للنترونات بعشرات المرات .

أما الكميات المستعمَلة من هذه المواد فتبلغ عشرات الأطنان من الأورانيوم ومئات الأطنان من الغرافيت . وتوضع بين هذه الكتل، قبل

تشغيل المفاعل ألواح مغطاة بطبقات من مادة تمتص النترونات بنسبة عالية (مثل الكادميوم)، بحيث يستحيل تشغيل المفاعل مع وجود هذه الألواح، وفي هذا احتياط من احتياطات السلامة.

يبدأ التفاعل داخل المرجل بعد أن نسحب هذه الألواح الواحد تلو الآخر، مما يؤدي إلى تناقص متدرج في عدد النترونات التي تمتصها الألواح، وإلى تزايد مقابل للتفاعل النووي البطيء في المفاعل. إن وتيرة سحب هذه الألواح وسرعة سحبها هي التي تضبط سرعة التفاعل المتسلسل.

وبعد أن نملأ الفراغ الموجود بين الأنابيب بكتل الغرافيت، نحيط المفاعل بجدار سميك من الغرافيت، يعكس اتجاه النترونات الواقعة عليه ويعيدها إلى داخل المفاعل مما يساعد على النترونات الموجودة بصورة كاملة ومما يسمح بالإقلال من كمية الأورانيوم المستعملة

ويترك بين كتل الغرافيت الداخلية عدد من الفجوات والقنوات ذات الأحجام والأعماق المختلفة، ويوضع فيها عدد من الأجهزة والعدادات، منها أجهزة التأين التي تساعد على ضبط سير التفاعل المتسلسل والإشراف عليه، وعدادات تقيس كمية النترونات، وترمومترات لقياس الحرارة. كما توضع أيضاً اسطوانات تحتوي على مواد مختلفة، بحيث تتعرض لتأثير تيار النترونات، وبحيث نحصل منها على عناصر مشعة اصطناعياً، أو بحيث ندرس تأثير الاشعاعات على المواد المختلفة.

وتحتاج المفاعلات الكبيرة، حيت تتولد حرارة كبيرة، إلى تبريد مناسب. ويتم هذا التبريد باستخدام تيار من الهواء يتسرب عبر الفتحات الموجودة بين كتل الغرافيت، أو بينها وبين الجدار العاكس للنترونات، كما يمكن استعمال الماء أو بعض السوائل الاخرى مكان

الهواء . ومن البديهي الإشارة إلى أن الهواء (أو الماء) يتحوّل بعد الاستعمال إلى مادة مشعّة ينبغي التخلص منها بحذر .

ومن الاحتياطات الضرورية لتأمين سلامة العاملين في المفاعل ، إحاطة كل ما سبق بـ « قفص » من الاسمنت المسلح ، تتراوح سماكة جدرانه بين مترين وثلاثة أمتار ، بحيث يبقى هؤلاء العاملون بمنأىً عن أيّ نوع من أنواع الأشعة المضرّة .

٢ ــ مفاعل المياه الثقيلة :

يفضّل بعض العلماء استعمال المياه الثقيلة لأنها تحتوي على ذرّات الديتّريوم المبطئة للنترونات ، ولأنها قادرة في نفس الوقت على تبريد المفاعل ، كما أنها لا تأخذ حجم الغرافيت الكبير ولا وزنه الثقيل ، مما يؤدي إلى تقليل حجم المفاعل ووزنه .

ولكن استبدال الغرافيت بالمياه الثقيلة كمبطىء للنترونات ، لا يغني عن استعماله كعاكس . ولذلك فإن تصميم المفاعل يصبح كما يلي : برميل يحتوي على المياه الثقيلة يبلغ قطره المترين وارتفاعه المترين ونصف المتر ، ويتسع لكمية من المياه تبلغ الستة أطنان تقريباً . يوضع هذا البرميل في بئر من الغرافيت تعمل كعاكسة للنترونات ، وتبلغ سماكة جدارها (٦٠) سنتيمتراً تقريباً . تغلف هذه البئر من الخارج بطبقتين من الكادميوم والرصاص بسماكة(١٠) سنتيمترات لكل طبقة . ويقوم هذا الغلاف بامتصاص النترونات التي قد تنفذ (وهو احتمال ضعيف) من جدار بئر الغرافيت العاكس .

ويقفل أعلى البرميل بغطاء ثقيل من الألومنيوم يحتوي على عدد كبير من الفتحات التي يناهز قطر الواحدة منها الثلاثة سنتيمترات . وتستعمل كل فتحة لتمرير انبوب من الألومنيوم ، طوله (١٨٥)

سنتيمتراً ، وتوضع فيه سبيكة أو أكثر من الأورانيوم ، وزنها كيلوغرامان ونصف . ويمكن أن تبلغ كمية الأورانيوم الغارقة في المياه الثقيلة بهذه الوسيلة طنين أو ثلاثة أطنان .

ويستعمل عدد آخر من فتحات الغطاء لتمرير قضبان من مادة الكادميوم الشرهة في امتصاص النترونات كما رأينا . تنزل هذه القضبان داخل المياه ، أو ترتفع على أعماق مختلفة ، بحيث نتحكّم حسب الحاجة في التفاعل المتسلسل . إن هذه القضبان تلعب ، بتعبير آخر ، دور الألواح في المفاعل الغرافيتي .

ويحاط كل هذا ، كما في المفاعل الغرافيتي ، بقفص من الاسمنت المسلّح . أما بالنسبة للتبريد ، فيستعان بالمياه العادية أو بالهواء البارد .

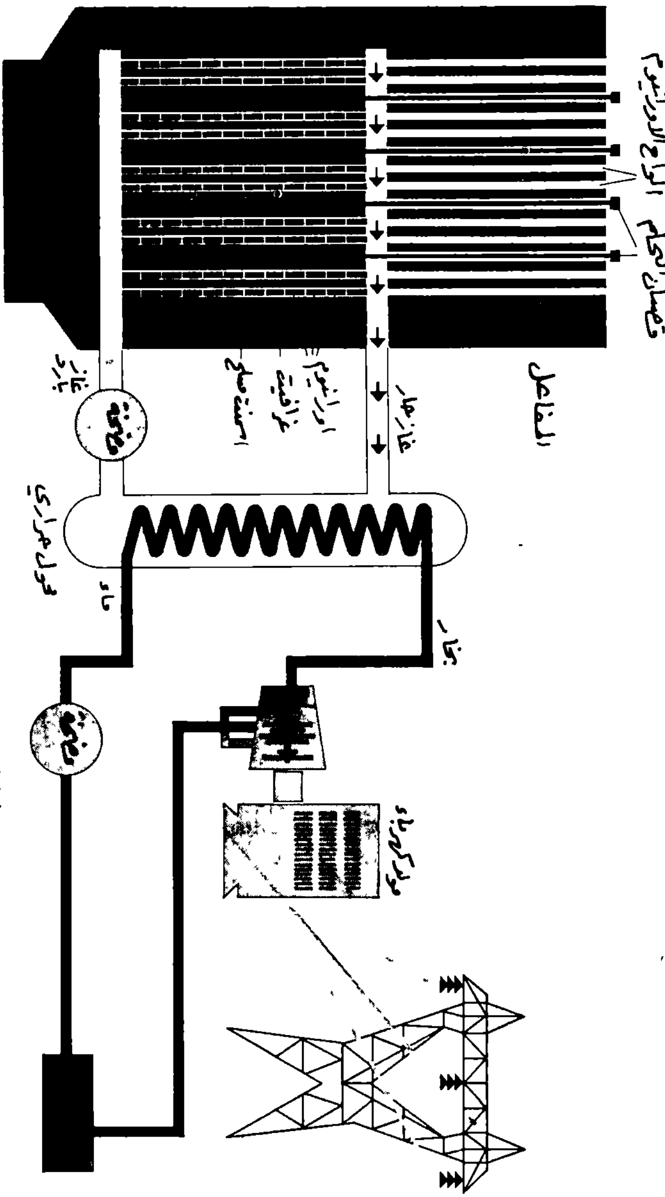
٣ ـ المفاعلات الاخرى :

هناك عدد كبير من المفاعلات الاخرى ، سنذكر باختصار أمثلة عنها :

في « المفاعل المتجانس » مثلاً يستبدل الأورانيوم الطبيعي بالأورانيوم المشبع (تزداد فيه اصطناعياً كمية الأورانيوم ٢٣٥) . يُذاب هذا الأورانيوم في كمية من المياه الثقيلة ، ويوضع هذا المزيج السائل في كرة من الصلب الذي لا يصدأ يبلغ قطرها (٣٠) سنتيمتراً . وقد تبيّن أن التفاعل المتسلسل يبدأ عندما يكون في المزيج السائل حوالي (٩٠٠) غرام من الأورانيوم (٢٣٥) .

يفضّل هذا المفاعل على غيره للأسباب التالية :

– انه مفاعل يضبط نفسه . فعندما تزداد سرعة التفاعل المتسلسل في الأورانيوم ، تزداد معها درجة الحرارة في المزيج السائل .



تصميم مبسط لمفاعل نووي

وينتج عن ازدياد الحرارة ازدياد في حجم المزيج وتتباعد بالتالي نوى ذرّات الهيدروجين الموجودة في المياه ، ويقلّ عـــدد الاصطدامات بين النّرونات ونوى الهيدروجين ، فتقلّ سرعة التفاعل وتنخفض كذلك قدرة المفاعل . ويؤدي كل ذلك إلى انخفاض في درجة الحرارة وتقارب ذرّات الهيدروجين ووصول سرعة التفاعل إلى النطاق المطلوب .

– انه مفاعل صغير الحجم ..
– .. غير أن قدرته يمكن أن تكون عالية جداً .

وهناك مفاعل آخر يدعى « المفاعل المغمور بالماء » : يستعمل هذا المفاعل المياه العادية، بدل المياه الثقيلة مما يحقق وفراً مادياً هاماً نظراً لقلة المياه الثقيلة وارتفاع ثمنها .

ويتألف هـــذا المفاعل من قفص من الألومنيوم تبلغ أبعاده (٤٠ × ٣٠ × ٦٠) من السنتيمترات، ويغطّس في حوض من المياه العادية سعته حوالي (٤٠٠) متر مكعّب . ويحتوي هذا القفص على ألواح من الأورانيوم المشبع ، ويحرك داخل الحوض بحيث يبلغ أي نقطة نريدها . وأخيراً ، تقوم مياه الحوض بدور المبطىء وبدور المبرّد في نفس الوقت .

إنتاج الكهرباء

قد يكون إنتاج الكهرباء باستعمال مفاعل ذرّي هو أكثر تطبيقات المفاعل أهمية في يومنا هذا ، وخاصّة بعد انفجار أزمة الطاقة العالمية في سنة (١٩٧٣) .

وقد أنشئت أول محطة ذرّية لإنتاج الكهرباء في الاتحاد السوفياتي سنة (١٩٥٤) .

تنتج هذه المحطة خمسة آلاف كيلو – وات وتستخدم (٣٠) غراماً من الأورانيوم تكفي لتوليد طاقة تعادل الطاقة الحاصلة من حرق (١٠٠) طن من الفحم الجيد في اليوم ، أو ما يعادل قدرة (١٠) آلاف حصان .

ويعمل المفاعل في هذه المحطة ، وهي صغيرة بالنسبة لمحطات اليوم ، بواسطة النترونات البطيئة . أما المبطىء المستعمَل فهو الغرافيت . وتصميم المفاعل يشبه المفاعل الغرافيتي الذي سبق لنا وصفه مع اختلاف في بعض التفاصيل . كما تستعمل المياه العادية كمبرّد .

إن الوسيلة الأساسية للحصول على الكهرباء من هذا المفاعل تقضي بنقل الحرارة الناتجة عن انشطار نوى الأورانيوم إلى توربين بخاري ، أي أن المفاعل يحلّ في محطة الكهرباء هنا محل الوقود العادي في المحطة الحرارية العادية . وقد كانت الفكرة البديهية الاولى تقول بالاستعانة بالماء المستعمَل في التبريد لنقل الحرارة إلى التوربين .

ولكن بقيت دون تحقيق ذلك عقبات . فمرور الماء في المفاعل يعرّضه لتيار النترونات القوي ، ويحوله إلى مادة مشعّة ، ولا يصحّ في هذه الحال تحويل الماء المذكور مباشرة إلى التوربين البخاري .

ثم ان الماء الذي يمتصّ الحرارة في المفاعل يسخن حتى (٢٧٠) درجة مئوية دون أن يبلغ الغليان . وسبب ذلك ارتفاع الضغط داخل المفاعل ، إذ يمكن أن يبلغ (١٠٠) ضغط جوي .

ولذلك تمّ اللجوء إلى « مبدّل الحرارة » ، وهو مرجل بخاري متين يمرّ في داخله لولب مسخّن بواسطة مياه المفاعل : تلامس مياه المرجل

البخاري اللولب الساخن ويتحوّل إلى بخار ذي ضغط مرتفع ، مما يؤدي إلى بدء حركة التوربين البخاري فإلى توليد التيار الكهربائي . ونكون باستعمال المبدل الحراري قد استفدنا من حرارة مياه المفاعل دون أن يحصل أيّ تمازج بين مياه المفاعل ومياه المرجل ، أي دون أن نسمح لمياه المفاعل بنقل إشعاعاتها الخطرة إلى التوربين .

وبعد أن يقوم البخار بعمله في التوربين يدخل إلى المكثّف حيث يبرد ويتحول من جديد إلى ماء . يعاد هذا الماء بواسطة مضحات خاصّة للاستعمال من جديد .. وهكذا دواليك .

وقد أُدخلت على هذه المحطة الاولى تحسينات كثيرة تخرج عن نطاق عرضنا المبسّط هذا .

نظرة الى الكهرباء النووية:
بين التكوين والتطوير

سوق انتاج الكهرباء النووية

يعود عمر الإنتاج الصناعي للكهرباء النووية إلى حوالي (٢٠) سنة . ففي عام (١٩٥٦) ربطت مجموعة مؤلفة من أربعة مفاعلات تنتج قوة كهربائية تبلغ (٢٤٠) ميغاوات بالشبكة البريطانية . لكن الكهرباء لم تكن آنذاك سوى إنتاج نامٍ من تكون البلوتونيوم (٢٣٩) المخصّص للبرامج الحربية .

في السنة نفسها ربط كذلك أول مركز فرنسي نووي (GL) بالشبكة الكهربائية العامة . وبدأ أول مولّد كهربائي في الولايات المتحدة عام (١٩٥٧) (VBWR) بالانتاج ، بقوة (٥) ميغاوات فقط . وابتدأت كندا والسويد بتحضير برامج للمراكز النووية بعد ذلك بقليل . ففي كندا ربط المفاعل (Rolphon) بقوة (٢٥) ميغاوات بالشبكة عام (١٩٦٢) . وفي السويد ربط المفاعل (Agesta) الذي قوته (١٢) ميغاوات بالشبكة الكهربائية العامة ، وذلك في عام (١٩٦٤) .

ورغم هذه الانطلاقات الحديثة نسبياً ، فرضت القوة النووية نفسها إذ زاد الجهد النووي العالمي خمس مرات في مدة (١٥) عاماً ، وأصبح يحتوي عام (١٩٧٥) على (١٨٠) وحدة بقوة (٨٠) ألف ميغاوات . ولكن هذه القوة الموجودة لم تكن موزّعة توزيعاً منتظماً في مختلف بلدان

العالم، لأن الولايات المتحدة كانت وحدها تملك قوة(٤٠٠٠٠) ميغاواط، أي ما يقارب نصف المجموع العـــام ، في حين أن بريطانيـــا التي تعادلت مع الولايات المتحدة عام (١٩٦٠) ، لم يكن لديها عام (١٩٧٥) من القوة العاملة سوى (٦٠٠٠) ميغاوات تقريباً ، بينما كانت كل من فرنسا والمانيا تملك قوة تقدّر بـ (٣٠٠٠) ميغاوات. وهذا ما يظهره الجدول الذي يلخص أيضاً تطوُّر الحقل النووي في بعض البلدان منذ عام (١٩٦٠) . وفي عام (١٩٧٥) كان ما يقرب من (٤٠٠٠٠٠) ميغاوات في طور الإنشاء أو الاستخدام

كيف تكوّن عرض الكهرباء النووية على مرّ الزمن ، وما هي حالياً مميزاته الأساسية ؟ وما هي أهمية البرامج النووية التي سيقوم عليها العالم ؟ وما هي أهمية الأسواق الناتجة عنها ؟

جدول رقم (٥)

تطوُّر القوة النووية الموجودة في العالم

القوة الكهربائية المجتمعة في نهاية السنة (بالميغاوات)

الدولة	١٩٦٠	١٩٦٥	١٩٧٠	١٩٧٢	١٩٧٤	١٩٧٥
المانيا الفدرالية	١٦	٧٤	٩٨٠	٢٤٠٠	٣٥٠٠	٣٥٠٠
الولايات المتحدة	٥٠٠	١٩٠٠	٨٢٠٠	١٥٥٠٠	٣٦٠٠٠	٤٠٠٠٠
فرنسا	٩٠	٤٠٠	١٧٠٠	٢٨٠٠	٣٠٠٠	٣٠٠٠
اليابان	٠	١٨٠	١٣٠٠	٢٦٠٠	٦٠٠٠	٦٦٠٠
بريطانيا	٥٠٠	٤٠٠٠	٦٠٠٠	٦١٠٠	٦٤٠٠	٦٤٠٠
الاتحاد السوفياتي	٣٠٠	١٠٠٠	١٦٠٠	٢٩٠٠	٤٨٠٠	٥٨٠٠
مجموع القوّة الكهربائية في العالم	١٤٠٠	٨٣٠٠	٢٣٠٠٠	٣٩٠٠٠	٧٢٠٠٠	٨٠٠٠٠

تطوُّر السياسات النووية في البلدان الصناعية

ظهر في بدء الأبحاث عن إنتاج الكهرباء النووية أمام الدول والصناعات المعنية طريقان كبيران : الأول طريق الأورانيوم المتسع ، والثاني طريق الأورانيوم الطبيعي . كانت مقارنة الإمكانيات الاقتصادية بين هذين الطريقين صعبة التقدير في بداية الأمر . ولكن عاملاً أساسياً ساهم في توجيه اختيار بعض البلدان . ألا وهو السباق في ميدان الأسلحة النووية والرغبة في اقتنائها .

كانت الولايات المتحدة تملك مفاعلات تعمل على البلوتونيوم . وكانت قد نظمت برنامج مفاعلات للغواصات بواسطة الأورانيوم المشبع لقد كانت تملك نوعاً من الخبرة في مفاعلات المياه العادية . وكانت في الوقت ذاته تعتبر البلد الوحيد في العالم الغربي القادر على إنتاج الأورانيوم المتسع وبذلك فرصت هذه الطريقة كي تثبت سيطرتها

وعلاوة على الإنتاج الكهربائي النووي . كانت فرنسا وبريطانيا تهدفان إلى إنشاء أفضل مفاعلات تعمل على البلوتونيوم لكي تصنعا منها القنابل الذرية ، لأنهما كانتا تفتقران إلى الأورانيوم المتسع . واختار هذان البلدان مفاعلات تعمل على الأورانيوم الطبيعي ، مبرّدةً بواسطة الغاز وتسمح فيما بعدُ بصنع القنابل الهيدروجينية التي تستعمل الأورانيوم المتسع أما كندا ، التي كانت تملك احتياطاً هاماً من الأورانيوم ، فلم تكن لها أية رغبة في الحصول على السلاح النووي . لقد اختارت الأورانيوم الطبيعي المخفّف بالمياه الثقيلة والتفتت لدور المحروقات غير مهتمّة بمصانع الاتساع أو بمصانع المحروقات المتسعّة .

ولم تستطع المانيا الفدرالية واليابان الاشتراك في القوة النووية نتيجة الحرب العالمية الاولى

كانت المانيا بعيدة عن ميدان السلاح الذرّي وكانت تتساءل عن الامكانيات الاقتصادية والصناعية لهذة القوة . بينما كانت اليابان مرمى للقابل الذرية . ومع ذلك لم تتطرّق لحقل الكهرباء النووية إلاّ بحذر شديد .

كان همّ كل بلد هو تطوير تقنيته الخاصّة والمحافظة على استقلاله الوطني قدر المستطاع . وكانت للحكومة والصناعة الاميركيتين مطامع بعيدة ، لذلك وافقتا على بذل مصروف هائل لتطوير التقنية النووية . والغاية من هذا هي كسب أسواق مهمّة داخلية وخارجية في ما يخصّ المفاعلات في حقل المحروقات ، وخصوصاً تلك التي تساعد على اشباع الأورانيوم .

أما سائر البلدان المنهمكة في تنمية قوتها الحربية وتأمين استقلالها بالنسة للولايات المتحدة ، فقد ساهمت بمصاريف ضخمة تتوافق مع ميزانياتها .

وظهر سريعاً للبلاد الاوروبية ان سياستها الانعزالية سمحت لها بالتمركز تقنياً ازاء الولايات المتحدة ، ولكنها لم تنجح في احتلال مركز هام في السوق العالمية وتأثرت هذه الأخيرة بشكة الأورانيوم المشبع الذي ما لبث أن غزا المانيا الفيدرالية واليابان. فنجاح مراكز المياه العادية ، الذي يعود الفضل الأكبر فيه لقوة صناعة وسياسة الولايات المتحدة ، أصبح ثابتاً أكثر فأكثر على مرّ السنين .

وتبذل بريطانيا منذ عام (١٩٦٥) قصارى جهدها لمواجهة الوضع ، وذلك بتبنيها لبرنامج القوة النووية الثاني الذي تخلى عن اعتماد مفاعل مافينوس (الأورانيوم الطبيعي مع غاز العرافيت) وانصرفت إلى المفاعل (AGR) المبرّد دائماً بثاني اوكسيد الكربون والذي يستعمل كوقودٍ الأورانيوم المشبع إشباعاً خفيفاً ، وهو يصنع على أرضها بواسطة

مصنع الانفصال النطيري العسكري في كابنهورست والذي حوّل إلى الحاجات المدنية . ولقد بقيت بريطانيـــا تعمل بمفردهـــا . ولكنها فشلت في تصدير مفاعل ماغنوكس . كما ان المفاعل (AGR) لم ينجح أيضاً في فرص نفسه . لذلك غيّرت بريطانيا الشبكة عام(١٩٧٤) واختارت مفاعل (S G H W R. Steam Generating Heavy Water Reactor) ذا الأورانيوم المتسع قليلاً والمخفف بالمياه الثقيلة ذا الصفـــة البريطانية الصرفة وعندما اكتشفت مناجم بترول بحر الشمال ، بدت القوة النووية أقلّ ضرورة .

واستغرقت فرنسا وقتاً أطول من بريطانيـــا لتغيير هـــذا النمط ولكنها كانت أكثر جذرية ففي عام (١٩٦٩) . اختارت المراكز ذات المياه العادية ولم تكن في الواقع مجرّدة من الحيرة في هذه الشبكة الجديدة . فإن اشتراكها في إنشاء المفاعلات ذات المياه العادية المكيفة الضغط (Ghooz) هيّأها مسبقاً لتبني هذه التقنية ووسّعت فرنسا بالتالي وبنجاح برنامجَ إنشاء غوّاصات ذرية مسيّرة بمفاعلات ذات مياه عادية مكيفة الضغط (PWR) وذات صفة فرنسية . وتأكّدت من السيطرة على تقنية الانفصال النطيري بالانتشار الغازي وقد اتضح أن مراكز الأورانيوم المتسع والمخففة بالمياه العادية هي أكثر توفيراً من مراكز الأورانيوم العادي المخفف بالغرافيت . وسمح اللجوء إلى التقنيات الاميركية للصناعة الفرنسية النووية بأن تصبح أكثر قدرة على التصدير

وحتى ذلك الحين كانت كندا البلد الوحيد الذي حافظ على اختياره الأساسي ، فشبكتها للمياه الثقيلة المكيفة الضغط كانت مرضيـــة ، وكانت لديها أسباب أقلّ من البلدان الاخرى لتغيير اختيارها المستند على ضخامة مواردها للاورانيوم . ولقد نجحت بتصدير مفاعلات ذات صفة وطنية وخصوصاً بسبب التبسيط النسبي لدورة المحروقات .

أما السويد ، التي تبنّت منذ عام (١٩٦٥) طريقة الأورانيوم المشبع ، فقد وضعت اختباراً وطنياً بالنسبة للمراكز ذات المياه العادية المغلية (BWR) . وبلغت السويد هذه الأهمية لأنها تملك على أرضها مصادر مهمّة للاورانيوم ، مما قادها لاختبار شبكة اورانيوم طبيعي مخفّف بالميـــاه الثقيلة حيث تفرّع نموذج أفضل أجستا (Agesta) بقوة (١٢) ميغاوات في سنة (١٩٦٣) .

كان مفروضاً أن يتبع أجستا المفاعـــل مارفيكن (Marviken) في الاتجاه نفسه ، ولكن دراسة السوق أقنعت السويديين بأن مراكز المياه العادية كانت أكثر حظاً في السوق العالمية . فنمـّت عندئذ مفاعل المياه الحارة (BWR) الذي سيؤدي لبناء مركز جديد بقوة (٤٤٠) ميغاوات .

لم تكن انعزالية السويد إلاّ نسبية لأنها طلبت من جهة ، ثلاثة مراكز ذات ميـــاه عادية مكيّفة الضغط من شركة ويستنغهاوس الاميركية ، ومن جهة أخرى ، وقّعت عام (١٩٧٤) مع شركة جنرال اليكتريك الاميركية اتفاقاً للتعاون والتبادل التقني . وتوخى هذا الاتفاق الدرس المشترك لمشاكل الأمن والاقتصاد ، فأصبح هناك تبادل في العقود ، ولكن كل شريك يزاول بيع مفاعلاته الخاصّة . وعبّر هذا الاتفاق ، ربما ، عن ردّة فعل السويديين وشركة جنرال اليكتريك أمام المحاولة التي قامت بها ويستنغهاوس بترسيخ قدمها في السوق الأوروبية انطلاقاً من السويد . وبالفعل ، حصلت ويستنغهاوس عام (١٩٧٣)على (٥٥٪) من أسهم شركة أ. ب. مونيتور(A. B. Monitor) التي أسّستها عام (١٩٦٧) مجموعة من الصناعيين السويديين .

إن تطوُّر القوى النووية في مختلف بلدان العالم يعطينا فكرة واضحة عن الإخفاق المحتّم للسياسات الوطنية المنكمشة ، وعن ضرورة التعاون

العالمي الذي واجهه كل بلد حسب استراتيجيته الخاصّة لقد قاد هذا التعاون إلى مبادلات صناعية واقتصادية متنوعة وساهم في تكوين سريع جداً لسوق حقيقية لتجهيزات المراكز النووية والمصانع في حقل المحروقات ويتميّز تطوّر البرامج النووية في العالم بما يلي :

- نمو إجمالي مهمّ جداً منذ عام (١٩٦٥)
- سيطرة متزايدة لمراكز ذات مياه عادية ، وخصوصاً المياه ذات الضغط المكيّف .
- تزايُد في التعاون والوحدوية .
- نوع من التراجع في الطلب على المراكز النووية في عام (١٩٧٤) (وأكثر في عام ١٩٧٥) عائد بشكل أساسي للأزمة الاقتصادية العالمية . ونتج عن هـذا التراجع تخفيض في القوة الكهربائية المتوقعة قبل أزمة (١٩٧٣ ـ ١٩٨٥)

إن تكوُّن العرض الكهربائي النووي كان محدداً إذن بتطور العوامل الصناعية والسياسية والاقتصادية والحربية التي تألّفت منها السياسة النووية في أهمّ البلدان الصناعية الرئيسية .

ولكن من يسيطر حالياً على السوق وعلى الشركات المتعدّدة الجنسيّة ؟

من يسيطر على سوق تجهيزات الكهرباء النووية ؟

إن أحد أهمّ الخطوط البارزة في سوق تجهيزات إنتاج الكهرباء النووية ، وخصوصاً سوق المراكز ، هو ضخامة إمكانيات العمل وبالتالي التجميع الصناعي والمالي الذي تفرضه .

فتعقيد العوامل السياسية والحربية والصناعية والاقتصادية التي سبقت التكوين التدريجي للعرض الكهربائي منذ عام (١٩٥٦) ، هو بالطبع على أهمية فائقة .

ويجب ألا نستغرب أبداً عدم وجود تماثل بين السوق النووية والمنافسة الاقتصادية العادية . فهذه المنافسة هي بمثابة المثال الأعلى لعلماء الاقتصاد التقليديين ، وهي التي تترك المصالح الخاصّة تعمل وتتفاعل وحدها . وهذا النشاط الحرّ للمصانع يتقارب بالنهاية حسب تفكيرهم مع الفائدة العامة . ويقاد هذا النشاط ، حسب التعبير الشهير لآدام سميث ، بيد خفيّة لتأدية هدف لم يدخل قطّ في نوايا القائمين به .

وعلى العكس من ذلك، نلاحظ في الحقل النووي ، أكثر مما نلاحظ في أيّ حقل من الحقول الكثيرة الاخرى ، وجود عدد ضئيل من الباعة الأقوياء . ان السياسة الإنمائية لهؤلاء غالباً ما تختلط مع سياسة السلطات العامة الوطنية التي تلعب في الاقتصاديات الحديثة دوراً هاماً أكثر فأكثر .

ولا يمارس هذا الدور على مستوىً اقتصادي بحت مع انه يتلاقى أكثر الأحيان مع سياسات اقتصاديات الدول . والجدولَ التالي يظهر تطوّر السوق العالميـــة ودور الشركات الرئيسية : نرى أن الشركتين الأميركيتين ويستنغهاوس وجنرال اليكتريك اللتين كانتا تمثلان مباشرة أو غير مباشرة حوالي (٥٠٪) من السوق الذرية العالمية قد حققتا في السنوات الأخيرة أكثر من (٦٠٪) من مجموع أعمال المراكز النووية العامة . كما أن المنشئين الأربعة الأميركيين لمراكز ذات مياه عادية جمعوا حتى عام (١٩٧٥) أكثر من (٧٠٪) من الطلبات . وبذلك يظهر أن السوق محكومة فعلياً بعدد ضئيل جـــداً من الشركات . ومن المفيد أن نلاحظ أن الشركة الفرنسية فراماتوم (Framatome) تأخذ دوراً يزداد أهمية يوماً بعد يوم .

١ – في الولايات المتحدة :

في الولايات المتحدة حالياً ، تتقاسم السوقَ النوويةَ الأميركية خمس مؤسسات ، هـي : ويستنغهاوس ؛ وجـنرال اليكتريك ، وبابكوك ، وويلكوكس (Babcock ; Wilcox) ، وكومـباستن انحينـيرنغ (Combustion Engineering) ، وجنرال اتوميـك (General - Atomic) . ولم تتدخّل الدولة قـط مباشرة في السوق . فدورها حدّده الكونغرس عام (١٩٥٥) عندمـا طلب من مؤسسة (U S.A E.C · United Stats Atomic Energy Authority) تعهّـدَ برنامج المفاعلات السموذجية

(P D.R.P. Power Demonstration Reactor Program)

ويهدف هذا البرنامج إلى تطوير التقنية المعمّقة المستعمَلة من قبل منتجي الكهرباء لزيادة مواردهم بالمحروقات ، وللنجاح في إنتاج الكهرباء النووية بسعر تنافسي . ولقد تحقّق هذا الهدف في اشتراك (U.S A.E.C) على مستويات مختلفة بالدراسة واستغلالها المشاريع المشتركة . وأثّرت الـ (U S.A E C.) ، بواسطة البرامج المشتركة ، على الوضع النسبي الذي اعتمده الصناعيون المختلفون : إن نجاح الدفع النووي للغوّاصات كان المقياس الأول للاختيار . وكانت ويستنغهاوس إذن هي المستفيدة الاولى عام (١٩٥٥) من البرنامج المشترك ، لأن مفاعلها كان يعمل منذ عام (١٩٥٣) . وبالعكس ، انتظرت جنرال اليكتريك عام (١٩٥٩) للاستفادة من عقد مشابه ، لأن أول نموذج لها لمحرك غوّاصة نووية كان قد اخفق .

واصطدم تنفيذ برنامج (P D.R.P) منذ البداية بتحفظ بعض شركات الكهرباء ، التي لاحظت منذ عام (١٩٥٥) أن القوة النووية ليست الفضلى ، ولم يكن هناك لديها المبرّر للانخراط في بناء المراكز

النووية رغم المساعدة المالية من السلطة الذرية (U.S.A.E.C.) . كما أن شركات الكهرباء لم ترد عندئذ الابتعاد عن السوق النووية وترك المبادرة في هذا القطاع للسلطة وحدها . لذلك اختارت الحل الوسط ، أي انها اشتركت في عدد محدود من المشاريع المشتركة وانضمت في مجموعات لتحقيق كل مشروع .

من جهتها ، غيّرت السلطة الذرية الكثير من خططها ضمن إطار برنامج (P D.R.P.) . فمن بين مراكز المشاريع المشتركة مشروع اليانكي(Yankee) ، وهو عبارة عن مجموعة من احدى عشرة شركة كهرباء تبني مفاعلات من نوع (P.W.R.) بقوة (١٧٥) ميغاوات .

لقد ساهمت السلطة الذرية بمساعدة القوة النووية منذ البدء في الولايات المتحدة ، ولكن دورها لم يكن حاسماً ، ففي عام (١٩٦٢) ربطت بابكوك (Babcock) بشبكة الكهرباء مركزَ المياه العادية المكيّفة الضغط (P.W.R) بقوّة (٢٠٥) ميغاوات . ولم يستفد هذا المركز أبداً من هيكلية المشروع المشترك . وكذلك فإن جنرال اليكتريك نجحت ، بالرغم من فشلها البحري الأول ، في تصميم مفاعل للمياه العادية المغليّة سنة (١٩٥٥) بقوة (٢٠٠) ميغاوات . وأصبح هذا المفاعل في (١٥ / ١ / ١٩٥٩) المركز النووي الأول الخاص والأكثر قوة .

وعلى العكس من ذلك ، بدت كومبستن انجينيرنغ أكثر تحفظاً . ففي عام (١٩٦٠) فقط حصلت على أول اتفاق لمفاعل بقوة (٧٠٠) ميغاوات ، وقبلت السلطة الذرية منذ عام (١٩٥٨) تمويل مفاعل للمياه العادية والمغليّة ، ولكنه لم يدم طويلاً .

وكان الجهد المادي الذي وافق عليه الحكم الأميركي لدراسة وإنشاء مفاعل المياه العادية مهمّاً (١،٩ من مايارات الدولارات) .

ولكن جهد الصناعة الحاص لم يقلّ عنه أهمية . وبياناً على ذلك فإن جهد شركة (A D Little) وحدها كان يفوق المليار دولار .

إدن ، شجعت السلطة الذرية ظاهرياً المشاريع الحرة ، ولكنها احتكرت عمليّة إشباع الأورانيوم . وصحيح أن وكالة ا.ر.د.ا. (E.R.D.A. . Energy Research and Development Administration) التي حلّت محل السلطة الدرية تنشط ، حالياً ، على دفع الصاعة الخاصّة لأحذ قصب السبق ، ولكن المهمة صعبة للغاية لأن الاردا ، كالسلطة الدرية بالسبة للمهاح النووي (P D R P) ، وجدت نفسها ،رغمة على تعيير صيغتها الأساسية للتشجيع عدة مرات ، إذ أن ظهور مافسين عالميين أمثال اورديف (Eurodif) لا يترك الحكم الأميركي غير مبالٍ ، بل يزيده قلقاً أمام تردد الصاعة الاميركية وعدم إقدامها .

٢ ـ في المانيا الفيدرالية :

انتظرت المانيا الفيدرالية عام (١٩٥٥) لاسترجاع كافة سيطرتها على التطبيقات النوويه دات الطابع المدني ، بيد انها نجحت في عام (١٩٧٤) باحتلال الصف الخامس في العالم بالنسبة للقوى النووية الموجودة .

فما هي حصّة الدولة من هذا التطوّر المدهش ؟

لقد ظهر تدخّل الدولة بأشكال مختلفة ، ويمكن تلخيص ذلك بما يـــلي :

- تمّ وضع الوسائل الضرورية على المستوى الفيدرالي لبنـــاء وصيانة مركز البحوث النووية في كارلسروهي (Karlsruhe)
- سمحت المساعدات المالية بإنماء مشاريع صناعية ونماذج لمفاعلات مختلفة .

– اشتركت السلطات العامة في المخاطرات المالية المألوفة في بناء المراكز التجريبية الكبرى .

تحققت إذن انطلاقةُ الصناعة النووية الالمانية بمساعدة الدولة . ولكن ، يجب ألا ننسى ان روح المبادرة كان لها الفضل الأول لتنمية القوة النووية في المانيا . ويعتبر وضع المفاعلات الراهن في السوق الالمانية في اوج ازدهاره ، فالشركة النووية الالمانية (.K.W.U) هي الأكثر انتشاراً في هذه السوق ، كما انها توصّلت لأن تكون فعّالة في سوق المراكز ذات المياه العادية .

إن دور الحكم الفيدرالي في التصدير هو دور مباشر في الغالب ؛ وهكذا فإن بيع (٨) مفاعلات بواسطة (.K.W.U) إلى البرازيل كان نتيجة اتفاق بين الحكومتين الالمانية والبرازيلية ، حوى أيضاً اتفاقات في ميادين أخرى من الصناعة النووية .

جدول رقم (٦)

موقع بعض الشركات النووية في السوق العالمية
القوة الكهربائية المطلوبة (بالميغاوات) خارج المعسكر الاشتراكي

نوع المفاعل	الطلب المتراكم حتى نهاية ١٩٦٥	١٩٧٣	١٩٧٤	١٩٧٥	الطلب المتراكم حتى نهاية ١٩٧٥	الشركة
P W R.	٤٩٠٠	٢٠٢٥٠	١١٤٥٠	٩٦٠٠	١٠٢٣٥٠	ويستنغهاوس
	٢٥٠	٩٠٠	١٥٦٠٠	١٠٦٠٠	٣١٨٠٠	فراماتوم (فرنسا)
	—	١٣٩٦٠	٨٢٥٠	—	٣٣٠٧٠	كومستن انجيرينغ
	٢٥٠	٦٥٢٠	٣٧٠٠	٢٤٠٠	٣١٦٢٠	بابكوك وويلكوكس
B W.R	٥٠٠٠	١٠٨٢٠	٨٢٥٠	٣١٥٠	٤٢٠٠	جنرال اليكتريك
	—	١٥٦٠	٦٦٠	١٠٠٠	٧٠٥٠	(ASEA - Atom)
H.T R	٣٧٠	—	٢٥٠٠	—	٢٦٩٠	جنرال اتوميك
P H W R	٣٠٣٠	٤٣٦٠	٦٥٠	—	١١٤٥٠	الطاقة الذرية الكندية
U N G G.	٥٤٢٠	—	—	—	٥٤٢٠	شركات بريطانية
أنواع أخرى	٢٦٠٠	٣٥٠	٨٥٠	٣٩٦٠	١٥٤١٠	
المجموع	٢٤٢٣٠	٦٥٢٧٠	٦٦٤١٠	٤٣٨٢٠	٣٨٣٧٥٠	

٣ — في اليابان :

اهتمّت الشركات الخمس في اليابان : ميتسوبيشي (Mıtsubishı) ، وهيتاشي (Hıtachı) ، وتوشيبا (Toshıba) ؛ وسوميتومو (Sumıtomo) ، وفابيغ (FAPIG) بالطاقة النووية منذ البدء . ورافق هذا الاهتمام في نفس الوقت ، اهتمامٌ مماثل من أجهزة البحث ذات الطابع الحكومي مثل جايري (JAERI) واتوميك فويل كوربوريشن (Atomıc Fuel Corporation) . ولم تنظر الصناعة الخاصّة نظرة غضب إلى جهود الأوساط العلمية الرسمية بل سبقتها عملياً ، وهذا ما يفسّر الدور الذي لعبته حتى الآن الصناعة الخاصّة في اليابان في تأسيس برامج نووية ، وفي تأثيرها على الحكم . ولكن الحكم يشرف على الصناعة بواسطة وزارة الوصاية وهي وزارة التجارة الخارجية والصناعة التي تحمل عبء ثلاث مهمات أساسيّة :

- التوجيه العام لتهيئة مشاريع طويلة وقصيرة الأمد .
- الرقابة والمحافظة على القوانين الأساسيّة .
- وأخيراً ، مهمة الرعاية والمساعدة ، خصوصاً في الحقل التشريعي بواسطة قوانين وطنية ، أو أيضاً دور تشخيص أو صيانة الصناعة اليابانية من المنافسات الأجنبية .

ومع ذلك ، فعمل الحكومة هذا لا يشكّل سيطرة مطلقة ، لأن سياسة وزارة الوصاية محدّدة بالاشتراك مع الصناعيين عبر جمعيات عديدة أوجدتها وزارة الوصاية خصيصاً ، حيث نجد فيها ممثلين عن جميع الصناعيين الكبار .

إلى هذا ، يوجد تحت تصرُّف الصناعيين سلاح آخر يسمح لهم بالتدخـــل في سياســة البــلاد النــووية ، وهــو جمعيــة (J A.I.F. : Japan Atomic Industrial Forum) ، وهي لسان حالهم أمام الحكومة التي تقدم لها البرامج الطويلة الأمد والتوصيات . وإن دوراً كهذا ليس بغريب في الميــدان النووي ، ولكن في اليابان حيث للصناعيين قيمة كبرى ، فإن تأثير الجايف (J.A.I.F.) عــلى مقرّرات الحكومة يبلغ حداً عالياً .

إن النتائج الملموسة لسياسة صناعيي اليابان ليست قليلة . فمنذ عــام (١٩٦٧) ، حازت شركــة ميسوبيشي هيفي اندســتريز (Misubishi Heavy Industries) عــلى عقد مع ويستنغهــاوس (Westinghouse) لبناء مفاعل ذري في اليابان . وقد قطعت الصناعة اليابانية منذ ذلك الحين شوطاً كبيراً . فهي الآن تبذل جهداً لمنافسة السوق النووية العالمية . والترتيبات المأخوذة تسعى للوصول إلى إنتاج أرخص من إنتاج الآخرين إلى درجة يصبح فيها من مصلحة المنافس الأجنبي شراء إنتاج اليابان الخاص لاستعماله الشخصي . فشركة ميسوبيشي مثلاً تفتخر ببعض النجاحات كالتالي :

طلبات أحواض للمفاعلات الأميركية (Browns Ferry 2) وللمفاعل السويدي في رينغالز (Ringhals) حديث عن العزم على تلبية بعض حاجات المركز الأميركي في سيبروك (Seabrook) .

وتبقى الصناعة اليابانية في عجز رغم هذه النجاحات ، ولا سيما بسبب وجود المنافسة الضخمة بين اليابانيين أنفسهم ولأن مختلف الفرق الصناعية تتجهّز للمستقبل وتوظّف أموالها في وقت واحد ، مما يولّد التضخم في جميع الميادين . ان روح المغامرة عند الصناعيين اليابانيين ساعدتهم في التمركز بسرعة نسبية في السوق النووية ، وتأثيرهم على

السياسة النووية للبلاد لا يقبل الجدل ، ولكن هذه الروح الاستقلالية وهذه القدرة العاليـــة تشكّلان خطراً ، وذلك بخلق تنافس حار بين الصناعيين يؤدي إلى اختلال في التوازن مما يجعل مراقبة الدولة صعبة للغـــاية .

٤ – في السويد :

لقد تطوّر نموذج سويدي لمفاعل ذي مياه عادية مغلية بفضل شركة آزيا – أتوم (Asea Atom) ، وهي شركة خاصة سويدية . أما النفقات المتعلقة بهذا النوع من المفاعل فقد قسمت بين شركـــة آزيا أتوم وأ. ب. أتـــوم – انرجـــي (A B. Atom–Energi) التي تأسّست عام (١٩٧٤) بواسطة الحكومة للمساعدة بتمركز صناعة نووية وطنية دون اللجوء إلى العقود الأجنبية .

وفي عام (١٩٦٩) ، أي عندما بدأ البرنامج النووي بالتوسُّع ، قررت الحكومة السويدية تشديد رقابتها على الصناعة النووية . وقد قامت من أجل ذلك بما يلي :

– شراء (٥٠٪) من أسهم آزيا التي أصبحت عندئذ آزيا – أتوم (Asea–Atom) .
– شراء أسهـــم أتـــوم – انرجي (Atom Energı) التي حصرت نشاطاتها في البحث والتنمية بالاشتراك مع الصناعة الخاصّة وشركات الكهرباء .
– شراء (٥٠٪) من أسهم (Uddcomb Sweden A.B.) التي كانت مختصّة ، بين غيرها ، في صناعة أحواض المفاعلات .

وتدخّلت الحكومة السويدية أيضاً في اختيار عقود المراكز النووية . ففي عام (١٩٦٩) قرّرت السويد أن تطلب لمركز رينغالز مفاعل مياه عادية مغليّة(B W. R.) بقوة (٤٤٠) ميغاوات من شركة آزيا - أتوم (Asea Atom) ، وآخر من شركة ويستنغهاوس ، وهي المنافس الأجنبي الوحيد الموجود في السوق السويدية . ورأى البعض في هذه البادرة نوعاً من الحـــذر . وكانت آزيا - أتوم قد تعرّضت بالفعل للمصاعب بتحمُّل مسؤولية البرنامج النووي المرتقب بمفردهـــا . ومنذ ذلك الحين ، حازت آزيا - أتوم على ثمانية عقود ، بينما لم تحصل ويستنغهاوس إلاّ على عقدين .

٥ - في كنـــدا :

بذلت الحكومة الكندية جهدها بواسطة اللجنة الوطنية للقوة النووية (A E.C.L Atomic Energy of Canada Limited)لمراقبـــة تنميـــة الصناعة النووية .

وبالفعل ، كانت هذه اللجنة تقبض وحدها على تصاميم مفاعلات المياه العادية المكيفة الضغط أو المغلية (B.L W R.) ، وكانت أيضاً المصمّمة الصناعية للقسم النووي لكل المراكز النووية المطلوبة من شركات الكهرباء . فدور المصمم الصناعي لكل المراكز النووية كان منتشراً في كندا . فهو بالفعل مكلّف ليس فقط برسم المفاعلات ولكن أيضاً باختيار صانعي القسم النووي . وفي هذه النقطة الأخيرة تظهر أصالة التقنية الكندية وعندما تتقدم شركة كهربائية بطلب مركز نووي تختار اللجنة الوطنية (A.E C.L) من بين مختلف العروض وتكون الشركات المختارة مجبرة على التقيد بالمواصفات المحدّدة من اللجنة . وتبذل اللجنة عندئذ جهداً لابتكار صناعة تنطبق مع وجهات نظرها وقادرة على تلبية حاجات الزبائن . ويظهر أن شركات الكهرباء

كانت دائماً مؤيدة لهذه التجربة ، فلقد بنت اللجنة الوطنية للقوة النووية مع شركات الكهرباء هذه نموذجين هما دوغلاس بوينت (Douglas Point) ، وهو مفاعل للمياه الثقيلة المكيّفة الضغط ، وجنتيللي (Gentilly) ، وهو مفاعل مياه ثقيلة مغليّة . وبقي هذان النموذجان ملك اللجنة الوطنية التي تمتلك مصدراً دائماً للمعلومات لتحقيق تصاميم جديدة للمفاعلات . هذا ، وتعتبر شركة جنرال اليكتريك – كندا (C.G.E.) رغم الطواهر مثلاً على ذلك . وصحيح أن هذه الشركة كانت المصمّم الصاعي لأول مركز نووي كندي (N.P.P.) ، ولكن اللجنة الوطنية هي التي تملك هذا المفاعل . وقد أنشأت هذه الشركة ، فضلاً عن دلك ، مفاعل كانوب (Kanupp) بقوّة (١٣٧) ميغاوات في الباكستان، ولكن منذ عام (١٩٦٨) استرجعت اللجنة الوطنية القسم النووي الهندسي التابع لشركة (C.G.E.) بأكمله . ولا تصنع هذه الشركة الآن سوى أجزاء من المفاعل .

ولقد جهدت اللحنة الوطنية أيضاً في تنمية صناعة وطنية لإنتاج المياه الثقيلة ، وذلك بثلاث وسائل : بمساعدتها أعمال البحث والتطوير ، وبالرجوع إلى شركات الكهرباء التي كانت قد بنت لها مصانعها ، وبشراء قسم من الإنتاج المعين بواسطة الصاعيين الخصوصيين.

٦ – في بريطانيا :

بذلت بريطانيا جهداً مبكراً لحثّ الصناعة الخاصّة على مباشرة التقنيات والدراسات عن القوة النووية عندما كانت هذه الأبحاث لا تفرض وجود مراكز نووية خاصّة . وهكذا تمّ تصميم وتعمير المراكز النووية في بادىء الأمر ضمن حدود الصناعة الخاصّة . وظهر بعد هذا للصناعيين أن التجمع والتعاون يؤديان إلى نتائج أفضل ، ولكن هذه

الصورة الجديدة لم تعطِ نتائج مرضية ، لا في وضع خطط أعمال البرامج النووية ، ولا في اثبات حيال المنافسة الأجنبية .

وفي عام (١٩٦٨) ، أدت تغييرات جديدة في بنية الصناعة إلى خلق تجمعين اثنين : (T.N.P C) و (B.N.D.C) . ولأول مرة لم تكن حصّة الحكومة زهيدة ، إذ بلغت مساهمتها عبر الـ (U.K.A.F.E.A.) (٢٠٪). وتأكّدت في عام (١٩٧٣) النيّة المعقودة منذ عام (١٩٦٨) . فقدّرت الحكومة أن الصناعة النووية تكون أكثر فعالية إذا جمعت في رابطة واحدة حيث بلغت حصّة الـ (U.K A.F.E A) (١٥٪) من الأسهم ، وجنرال اليكتريك – كندا (C.G.E.) (٥٠٪) ، والتجمع النووي البريطاني (B.N.A.) (٣٥٪) . ومنذ ذلك الحين فضّلت الجنرال اليكتريك تخفيض اشتراكها إلى (٣٠٪) وزادت الـ (U K.A.F.E.A.) حصّتها إلى (٣٥٪) ، أي إلى مستوى شبيه بمستوى التجمع النووي البريطاني .

لكن إنتاج المواد القابلة للانشطار كان دائماً من اختصاص الحكومة . ففي عام (١٩٧١) ، قرّرت الـ (U.K.A.F E.A) نقل نشاطها الإنتاجي إلى الـ (B.W.F.L) ، ولكنها احتفظت دائماً بكل الأسهم . وحرصت على الحفاظ على الأكثرية التي تملكها رغم انها قادرة على البيع للصناعة الخاصّة .

وأخيراً ، يظهر أن التغييرات المختلفة للبنية الصناعية النووية البريطانية قد تمّت بحيث زادت رقابة الدولة ويضاف إلى ذلك أن الصناعة الخاصة لم تصنع أيّ مفاعل إذ أن المفاعلات الأربعة : الأورانيوم الطبيعي الغرافيت (Magnox Advanced Gas Cooled Reactor A G R.) و (S G.H W.R Steam Generating Heavy Water Reactor) والمولّد البريطاني المفرط الفعالية ، هي من نماذج الـ (U.K A F E.A) .

فالصناعة النووية الخاصـــة ليست إذن سيدة مصيرها . واختيـــار الـ (S.G.H.W.R.) لمشاريع المراكز البريطانية قد تمّ بواسطة الحكومة بمعزل عن رأي الصناعيين (وشركة الكهرباء المستعملة C.E G.B.) الذين كانوا يفضّلون الشبكة الأميركية للمياه العادية المكيّفة الضغط . (P.W.R.)

هذه النظرة الشاملة عن وضع القوة النووية والشركات الخاصّة والسلطات العامة للبلدان الصناعية ، يُظهر أن الشركات الخاصة في الولايات المتحدة والمانيا الفيدرالية تسيطر على الحقل الصناعي النووي ، وعلى السوق الداخلية لهذه البلدان ، وعلى الصادرات . فالهيكلية الإنتاجية تعمل لمصلحة الشركة ولمصلحة البلاد العامة .

ويبدو هذا الحل هو الأفضل عندما يملك البلد شركات ضخمة وطنية قادرة على فرض سيطرتها الكبيرة على كافة السوق الصناعيةً .

إن حرية التبادل المدعومة في مجال الحيوية الاقتصادية العالمية ساعدت الشركات الأكثر قوة ، وقد أدّت إلى اللامساواة البنيوية بين البلدان .

وندرك هنا قلق البلدان الأقلّ تطوّراً اقتصادياً للحفاظ على صناعتها النووية الناشئة وعلى استقلالها . إن تاريخ التطور النووي في العالم يظهر أن البلدان الصغيرة أو المتوسطة ليس لها الخيار إلاّ بين موقفين من السياسة الصناعية ، هما :

– وضع مفاعل وطني ومحاولة إيجاد مكان له في السوق العالمية . وهذه السياسة هي التي اتبعتها كندا بنجاح أكيد ولكنه محدود ، وهي التي جرّبتها السويد ثم عدلت تقريباً عنها . وهـــذا هو أيضاً اختيار بريطانيـــا .

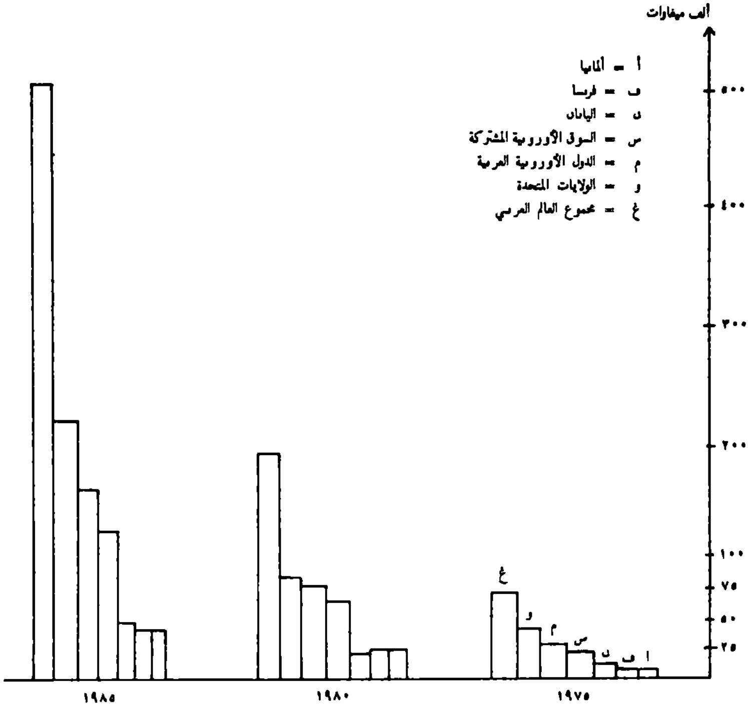
– بناء المفاعل بالتعاون مع البنائين الأميركيين الكبار ، والاستفادة من خبرتهم ومن تمّ الاستقلال عنهم ، كما فعلت المانيا الفيدرالية ، والى حدّ ما اليابان . أو بذل جهد للوصول إلى النهاية مع اتفاقات مشاركة معتدلة كحالة فرنسا .

ولكن ما هي أهمية السوق ؟ إن درس برامج التنمية النووية يسمح لنا بتحديدها .

برامج المراكز النووية في العالم

إن البرامج النووية في العالم تأخذ ، بصورة خاصّة ، أبعاداً مهمة . ويعطينا الرسم التالى فكرة واضحة عن المعطيات المتوفرة عن القوى الكهر – نووية المتوقعة لأعوام (١٩٨٠ – ١٩٨٥) في المانيا الفيدرالية وفرنسا ، واليابان ، والمجموعة الاقتصادية الاوروبية (O.C.D E.) ، والولايات المتحدة وكافة العالم الغربي .

ونستنتج من هذه المعطيات أنّ كلاً من فرنسا والمانيا الفيدرالية سوف يملك عـــام (١٩٨٥) ثلث القوة النووية الموحودة في السوق الاوروبية المشتركة .



القوة الكهرنووية المبنية أو المتوقعة في العالم الغربي

وستملك المجموعة الاوروبية الغربية ما يقرب من (٢٠٠٠٠٠) ميغاوات ، وتصبح القوة الموجودة في الولايات المتحدة أقلّ إذن من قوة باقي العالم الغربي .

أما بالنسبة للبرامج النووية في الدول الأوروبية الاشتراكية فإن الأرقام التي نعرفها تشير بوضوح إلى أهميتها . ففي نهاية عام (١٩٧٥) كان الاتحاد السوفياتي يملك وحده أكثر من (٥٨٠٠) ميغاوات من أصل نووي ، وأكثر من (١٤٠٠٠) ميغاوات كانت قيد البناء .

١ ـ ما هي الأعمال المتوقعة في أهم الميادين الصناعية النووية؟

إن التكهنات التي رأيناها لعام (١٩٨٥) تعطي مجموع النفقات في أهمّ المتفرعات المتعلقة بصناعة المراكز النووية من جهة ، ومن جهة ثانية بدور المحروقات في فرنسا ، وأوروبا العربية ، والولايات المتحدة ، والعالم الغربي . ويعطينا الجدول التالي هذه الأرقام بملايين الدولارات الأميركية حسب أسعار عام (١٩٧٦) .

جدول رقم (٧)

مجموع النفقات المقدّرة للصناعة النووية في سنة (١٩٨٥)
(بملايين الدولارات)

نوع النفقة	فرنسا	اوروبا الغربية	الولايات المتحدة	العالم الغربي
هندسة معمارية	٢٤٠	٩٦٠	٦٦٠	١٤٧٠
نحاسة	٤٨٠	١٩٢٠	٢٦٤٠	٥٨٨٠
ميكانيك	٤٤٠	١٧٦٠	٢٤١٠	٥٤٠٠
كهرباء	٢٦٠	١٠٤٠	١٤٢٠	٣١٨٠
سيطرة	١٨٠	٧٢٠	١٠٠٠	٢٢٠٠
دورة المحروقات	١٤٢٠	٥٦٤٠	٧٠٠٠	١٦٤٦٠
المجموع	١٧٢٠	١٢٠٤٠	١٥١٣٠	٣٠٥٩٠

وقد أُخذت هذه التقديرات انطلاقاً من التكاليف المعروفة حالياً للمراكز ذات المياه العادية المكيّفة الضغط والتي تمثل الآن القسم الأهم من طلبات المراكز النووية. أما بالنسبة للمولدات الخاصّة فالأرقام تتشابه، إلاّ أن حصّة النحاسة تصبح أكثر أهمية.

ونستطيع أن نحدّد أهمية هذه الأرقام بالمقارنة مع تخمينات النفقات السنوية لبعض الشركات الصناعية العالمية في مختلف الميادين.

لقد ارتفع رقم أعمال شركة ايكسون (Exon) إلى (٤٠) مليار دولار عام (١٩٧٤)، وشركة جنرال موتورز إلى (٣٠) مليار دولار، وشركة أي. بي. إم ١٢ (I.B.M.) إلى مليار دولار، والشركة الفرنسية للنفط إلى (٨) مليار دولار، وشركة رينو الفرنسية إلى (١،٥) مليار دولار، وشركة شنايدر الالمانية إلى (١،٥) مليار دولار.

إن مقارنة هذه الأرقام مع أرقام الجدول تكفي لإعطائنا فكرة عن ضخامة الأسواق الصناعية التي هي نتيجة إنماء القوة النووية خلال السنوات العشر المقبلة. والاتجاه نحو الزيادة السريعة لأرقام الأعمال الصناعية النووية سوف يتأكّد في حينه مع تصاعد الأهمية التي تأخذها المراكز النووية حيال منابع القوة الاخرى.

٢ – سوق البلدان النامية :

إذا كان من الصحيح أن البلدان الصناعية تمثل بالنسبة للقوة النووية السوقَ الرئيسية الأكثر أهمية، فيجب ألاّ ننسى الامكانيات المتوفرة في العالم الثالث الذي يمثل سوقاً مهمة للوحدات الصغيرة والمتوسطة. وتقدّر الوكالة العالمية للطاقة الذرية في فيينا، الطاقة الشرائية للسنوات العشر المقبلة (١٩٨٠ – ١٩٩٠) بـ (٢٣٠) وحدة ذات قوة تتراوح بين (١٥٠) و (٦٠٠) ميغاوات، ويبلغ مجموعها (٩٠٠٠٠) ميغاوات. هذه السوق تبدو بالطبع دون أسواق البلدان النامية، ولكنها تمثّل شيئاً هاماً.

كان من المسلّم به منذ عدة سنوات ان القوة النووية لا تستطيع التطوُّر إلاّ في البلدان الصناعية الكبرى . ولكن الهند برهنت أن هذا الافتراض ليس صحيحاً . فما تحقق في الحقل النووي الهندي كان أحياناً دون تكهناتها ولكن النتائج ليست ضئيلة على كل حال . فالمفاعل الآسيوي الأول خارج الاتحاد السوفياتي كان مفاعلاً هندياً وهو مفاعل أسبارا (Aspara) الذي نفّذ في آب/اغسطس عام (١٩٥٦) ، وقد تبعته مفاعلات أخرى تجريبية . ومنذ عام (١٩٦٩) ، اختارت الهند مراكزها النووية الأولى : مركزين للمياه المغلية من نمط جنرال اليكتريك (General Electric) ، ومركزاً للمياه الثقيلة المكيّفة الضغط الكندية . وتعمل هذه المراكز الثلاثة بقوة مجموعها (٦٤٠) ميغاوات .

وفضلاً عن ذلك ، فالهند هي (وكذلك اليابان) البلد الآسيوي الوحيد خارج الصين والاتحاد السوفياتي الذي يملك منذ الآن صناعة نووية وطنية تشمل في آن واحد ، دورة المحروقات وتصنيع مواد المراكز . غير أن برنامجها النووي تباطأ منذ تفجيرها للقنبلة الذرية ، إذ أن هذا التفجير أدّى إلى نقض اتفاق التعاون التقني الذي كانت الهند قد عقدته مع كندا .

ولا تصنع الهند حالياً سوى مفاعلات للمياه الثقيلة . وقد تبعت هذا النمط الأرجنتين وكوريا الجنوبية والباكستان . إن القوة الكهربائية النووية العاملة أو المطلوبة لمفاعلات ذات مياه ثقيلة في بلدان العالم الثالث تقارب (٣٠٠٠) ميغاوات لسنة (١٩٧٥) ، بينما بلغت هذه القوة (١٤٠٠٠) ميغاوات في البلدان ذاتها وفي الوقت نفسه ، في مفاعلات المياه العادية .

ومن المعروف أن مفاعل المياه العادية هو الأكثر انتشاراً في سوق العالم الثالث . ويظهر ان سوق إنتاج الكهرباء النووية ستزدهر كثيراً . فكيف سيتم ذلك ؟ ما هي هيكليته ؟ من الذي سيأخذ القسم الأكبر منه؟ ما هي المؤسسات الأكثر فعالية ؟ هل الشركات العملاقة المدعومة من حكوماتها والقادرة على تأمين وجودها والحفاظ على مصالحها هي التي ستسيطر على الأسواق العالمية ؟

إنّ المستقبل وحده كفيل بالإجابة على هذه الأسئلة .

ولكن إذا كانت الكهرباء تمثل حالياً الدور المتميز لتدخُّل القوة النووية في المعادلات الطاقوية فإنها ليست الوحيدة في هذا الميدان . أفلا تستطيع الحرارة أن تشكّل دوراً هاماً في هذا الميدان ؟

المفاعل النووي
في سوق الحرارة

تمثل الكهرباء بالتأكيد السوق المميزة لتنمية الطاقة النووية. ولكن مفاعلات هذه الأخيرة تشكّل أولاً مصادر طاقة حرارية، إذ ليس من الضروري تحويل الحرارة دائماً إلى كهرباء. فما هي الشروط العامة التي تسمح للطاقة النووية بأخذ مكانها في سوق الحرارة؟

للإجابة على هذا السؤال يجب أن نستعرض الخصائص الاقتصادية للعرض والطلب للطاقة النووية في هذا السوق.

الخصائص الاقتصادية لعرض الحرارة النووية

يتعلق مستوى حرارة البخار المحضَّر في مراكز نووية بنوعية المفاعل المستعمَل. فهو يتراوح بين (٣٠٠) درجة مئوية على الأكثر لمراكز المياه العادية، و (٥٥٠) درجة للمولدات الخاصّة، و (٥٥٠) أيضاً لمراكز الحرارة المرتفعة.

أيّ من هذه المراكز هو الأنسب؟

لنفترض وجود مركزين كهربائيين: الأول مفاعل نووي بمياه عادية، والثاني مولّد خاص يعمل على البلوتونيوم أو على درجة مرتفعة من

الحرارة بنفس القوة الكهربائية وذات الكلفة. نقول من الوجهة الاقتصادية انهما متعادلان . ولنفترض أننا سحبنا من هذين المركزين التجهيزات التي تولد الكهرباء ، فينتج عن ذلك توفير في كلفة التوظيف والاستعمال . وبمقدورنا اعتبار أن هذا التوفير لا يختلف بين مركز وآخر بينما مردود المركزين مختلف جداً :

سنسمّي القوة الكهربائيـــة (Pe) والقوة الحرارية (Pth) . سنعبّر عن حجم المفاعل بقوته الحرارية أو بقوته الكهربائية المعادلة .

في مفاعل المياه العادية نجد المعادلة التالية :

(Pth x ٠،٣٣ = Pe)

وفي مفاعل بنيترونات سريعة ، تصبح هذه المعادلة كما يلي :

. (Pth x ٠،٤٠ = Pe)

ويصل الفرق إلى (٢٠٪) ، والمركز الذي يعطي أسوأ مردود يجب أن تكون قوته الحرارية مرتفعة لإعطاء نفس الكميـــة من الكهرباء . إن كلفة الوحدة الحرارية في هذه الشروط تنخفض كلما ارتفع مردود المركز .

فإذا افترضنا أن مفاعل المياه العادية والمفاعل المفرط الفعالية يعطيان الكيلوات ــ ساعة بنفس الكلفة لنفس القوة الكهربائية ، تكون لمفاعل المياه العادية إذن ميزةٌ اقتصادية جوهرية بالنسبة للمفاعلات الاخرى ، عندما لا تتعدى حاجة الحرارة (٣٠٠) درجة مئوية .

إن المراكز النووية للمياه العادية والمراكز الحرارية التقليدية لا تملك نفس الخصائص الاقتصادية . فمعدّل التكاليف السنوية الثابتـــة والتكاليف النسبية يختلف بين النووية والتقليدية .

وإذا اعتمدنا أسعار النفط في اوروبا في مطلع سنة (١٩٧٦) ، نجد أن المركز الحراري النووي يتوصّل لمنافسة المركز الحراري التقليدي في إنتاج البخار الصناعي عندما تتعدى قوة المفاعل (٢٠٠) ميغاوات حرارية ، أي قوة (٥٠) ميغاوات كهربائية .

كيف نقارن الطاقة النووية والنفط في حالة الإنتاج المشترك للبخار والكهرباء ؟

لتعيين التأثيرات المتعلقة بنسبة القوة المعطاة بشكل بخار على المنافسة المقارنة بين المراكز الحرارية والنووية ، يجب أن ندخل افتراضاً إضافياً : يجب بالفعل أن يوزّع المصروف العام على الإنتاج الكهربائي والإنتاج البخاري .

إن درس المنافسة بين الطاقة النووية والطرق القديمة يفترض الرجوع إلى المفاعلات ذات المياه العادية . فهل يتغير اقتصاد الإنتاج المزدوج ، وإنتاج الحرارة على درجة منخفضة أقلّ من (٣٠٠) درجة مئوية انطلاقاً من مفاعلات المولدات الخاصّة أو انطلاقاً من الحرارة المرتفعة ؟

لأول نطرة يبدو انه لا يتغير . فالمقاييس المهمة هي نفسها كما في حالة المياه العادية ، فحجم المفاعل ونسبة الطاقة الناتجة بشكل حراري يجب أن يكونا على أكبر قدر ممكن بالنسبة للمفاعلات الصغيرة وعلى أقلّ قدر ممكن بالنسبة للكبيرة .

ولا تتغير كلفة التوظيف والاستثمار تغييراً ملموساً بالنسبة للشبكات المختلفة . فكلفة دورة محروقات المولدات الخاصّة تبقى أدنى منها في مفاعل الحرارة المرتفعة ، وهذه بدورها أدنى بقليل من كلفة مفاعل المياه العادية . فلذلك يجب اعتماد هذين النموذجين الأولين للمفاعلات .

ولكن كلفة دورة المحروقات لا تمثل (تبعاً لقوة ونوع المفاعل) سوى (٢٠) إلى (٣٥٪) من كلفة وحدة حرارة البخار النووي . لذا ، فالنماذج التي تعطينا الحرارة بدرجة عالية تقودنا لاعتبار الأجزاء المختلفة المؤثرة على طلب الحرارة النووية .

الطلب على الحرارة النووية

نستطيع أن نقسم ميادين الطلب على الحرارة النووية كما يلي :

- إزالــة الملوحة .
- الاستعمال الصناعي بالحرارة المنخفضة .
- الحاجات الخاصّة بالحرارة المرتفعــة .

١ ــ استعمال الحرارة النووية لازالة الملوحة :

انطلقت منذ عام (١٩٦٦ ــ ١٩٦٧) عدة مشاريع لمراكز مختلطة لإنتاج الماء والكهرباء في العالم الغربي . وقد أُهملت بالتالي جميعها ، أو تأجل النظر فيها . ولم تكن التبريرات في بعض الأحيان صريحة (ضرورة تحــديد الحاجات ، النقص في الأشخاص الأكفاء) . ويظهر من التحليل الأوّلي أن قيمة التوظيفات الأساسية وصعوبة التمويل كانتا في الأساس سببين للفشل وإهمال المشاريع .

وحالياً ، بدأ الاتحاد السوفياتي منذ سنة (١٩٧٣) طور الاستغلال الصناعي لمركز مزدوج للمياه والكهرباء . ويستعمل هذا المركز مفاعلاً مفرط الفعالية بقوة (١٠٠٠) ميغاوات حرارية ، ويعطي (١٥٠) ميغاوات كهربائية و (١٢٠٠٠٠) متر مكعّب من المياه العذبة في اليوم .

غير أن عــدداً من البلدان أعلنت الاهتمام بمشاريع المراكز النووية ذات الاستعمال المزدوج . ولكن الانطلاق في الدراسات لم يتقرّر بعد حتى الآن . فالتوظيفات المتوجبة باهظة حقاً . ولكن ، هناك معطيات أساسية تفسر لنا صعوبة تنمية أو تشجيع إنجازات من هذا النوع .

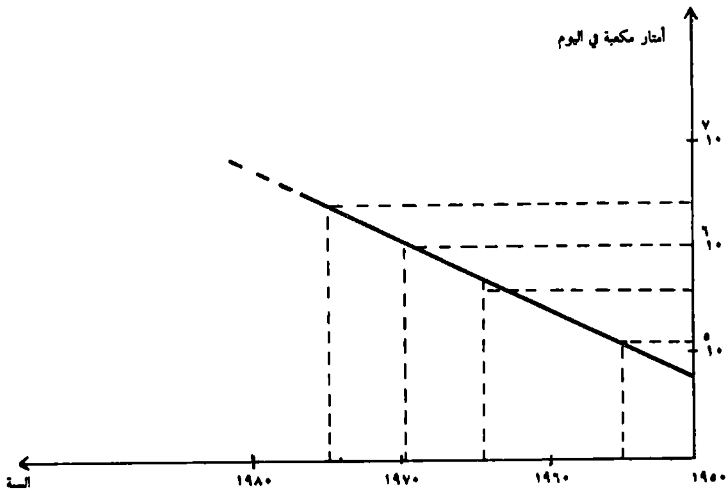
إن مراكز إزالة الملوحة المستعملة حالياً تملك قدرة تتراوح ما بين (١٠٠٠٠) و (٣٠٠٠٠) متر مكعب في اليوم ، وهي تقابل مصدر قوة صغيرة الحجم . ولا نستثني من هــذا الوصف مركز هونغ كونغ (١٨٠ ٠٠٠ متر مكعب في اليرم) الذي لا يتطلب أكثر من (١٥٠) ميغاوات كهرباء .

فإذا افترضنا أن المراكز الصغيرة المتنافسة حالياً (تتراوح قوتها بين ٥٠ و ١٢٠ ميغاوات) وانه من الضروري الوصول إلى (٣٦٠) و (٥٥٠) ميغاوات للحصول على مردود (٢٠٪) ، نستطيع أن نعتبر أن مراكز الطاقة النووية لإزالة الملح ستتطوّر بشكل خاص انطلاقاً من المراكز المزدوجة ذات الحجم الكبير والتي تعطي أيضاً الكهرباء .

ولكن كيف ستتطوّر السوق العالمية لمصانع التنقية ؟ يمثّل الرسم البياني التالي تطوّر القدرة المجتمعة لمصانع إزالة الملوحة في العالم خلال العشرين سنة الأخيرة . فقد سجّل الارتفاع في الطلب على المياه العذبة ، والذي ينمو بنسبة (١٥٪) كل سنة ، حاجةً ملحّة لمصانع تحلية المياه ، إذ تقدّر كمية المياه العذبة اللازمة في اليوم في عام (١٩٨٥) بـ (٧) ملايين من الأمتار المكعبة .

حتى الآن ، تمركز طلب المياه العذبة في الدول المنتجة للنفط بشكل أساسي ، في الشرق الأوسط ، وذلك بسبب التكاليف المهمة

وسعر الماء المرتفع نسبياً في هذه البلدان . كما تمركز أيضاً في افريقيا الشمالية . وهذه البلدان تمثل (٣٥٪) من القدرة الإجمالية المجتمعة . أما الدول المتقدمة فتمثل بلغة الأرقام (٤٠٪) من السوق العالمية .



تطور الطلب على تحلية المياه في العـــالم
(الأمتار المكعبة في اليوم)

ولقد أثبتت السنوات الأخيرة هذا الاتجاه . ونحن اليوم نشهد بالفعل ما يـــلي :

– تناقص مصادر المياه في البلدان ذات المعدل القوي للتصنيع بسبب تزايد تلوّث المياه السطحيـــة ، وتغيير أمكنة المراكز

الصناعية والموجودة في المدن نحو مناطق أقلّ حظاً بالنسبة للتموين بالمياه .

- التصنيع النامي للبلدان المنتجة للنفـــط في الشرق الأوسط . ونلاحظ بالفعل أن البلاد المنتجة للنفط أمّنت سنة (١٩٧٥) نسبة (٨٧٪) من حجم الطلبات ، وان معدّل النموّ السنوي العالمي في مراكز إزالة الملوحة قد بلغ (٢١٪) .

إن معدل النمو السنوي لطلبات المياه العذبة في سوق البلدان المنتجة للنفط في الشرق الأوسط قد ارتفع إلى (٣٠٪) في الأشهر الاولى من عام (١٩٧٦) . فإذا افترضنا أن كافة البلدان في هذه المنطقة ستسير على خطى الكويت التي تنمو طلباتها للمياه العذبة بمعدل (٢٠) إلى (٢٥٪) بالسنة وتتضاعف كل (٣) أو (٤) سنوات ، فعدد مراكز إزالة الملوحة التي تتطلب لحجمها الكبير ، اللجوء للقوة النووية سيكون هاماً جداً . ولكن من الصعب تقديره حسب معلوماتنا الحاضرة ، حيث ان احتمال إيجاد مجموعات صناعية زراعية يستطيع أن يكون فوق ذلك عاملاً فعالاً في إنشاء مراكز نووية متوسطة .

استعمالات الحرارة النووية

ما هو الوضع الحالي وما هي طلبات الحرارة النووية في القطاعات السكنية ؟

إن المراكز المستعملة حاليـــاً في قطاعـي السكن والخدمات ، أو المخطّط لها ، هي أساساً مزدوجة : كهرباء وبخار للتدفئة .

وخلال السنوات العشر الأخيرة ، كان المركز الوحيد المزدوج في الخدمة هو المركز الصغير السويدي (Agesta) ، المجهز بمفاعل مخفف ومبرد بالمياه الثقيلة تحت الضغط . وكان يستعمل قسماً من طاقته لتدفئة المنازل ، والقسم الآخر في الصناعـة في بلدة (Foresta) (كانت تعد ٣٠٠٠٠ نسمة عام ١٩٦٣) . لكن السويديين أوقفوا نهائياً هذا المركز في حزيران / يونيو عام (١٩٧٤) .

وتستفيد في السويد (٤٥) مدينة من التدفئة المدنية التي تغذي ، منذ الآن وحتى (١٩٨٠) ، (٧٠٪) تقريباً من أماكن السكن في المدن . وهناك دراسة أولية على مستوى أشمل قيد الإعداد ، قد تؤمن انطلاقاً من مركز بارسيبايلك الذي يبدأ الخدمة عام (١٩٨٣) ، تدفئة عدد من المدن الصغيرة تعادل تجمعاً سكنياً لنصف مليون شخص . كما أعدت مشاريع أخرى من بينها مشروع تدفئة المناطق السكنية في استوكهولم، وآخر لبناء (٣٥) وحدة بقوة (٥٠) ميغاوات كهربائية بهدف تأمين التدفئة أيضاً . ويرتبط تحقيق هذه المشاريع بتحقيق مجموع البرنامج النووي السويدي .

تؤمن التدفئة في الدانمارك بحوالي (٢٠٠) مركز نووي وتخدم ما يقارب (٣٠٪) من السكان . وهذه النسبة المئوية ستصل إلى (٥٠٪) عام (١٩٨٠) . ويفكر حالياً في إبدال المراكز الصغيرة للتدفئة بأخرى كبيرة مزدوجة والبعض منها ستكون نووية .

إن الإنتاج المزدوج للكهرباء والحرارة للتدفئة موجود منذ عدة سنوات في بلدان أوروبا الشرقية .

وقد وضع الاتحاد السوفياتي منذ (١٩٧٥) في الخدمة الوحدة الثانية من أصل أربع وحدات مرتقبة في بيليبينو (Bilıbino) في سيبيريا

الشمالية ، وكانت قد استغلت الوحدة الاولى في أواخر عام (١٩٧٣) . ويعلّق السوفيات ، كما يبدو ، أهمية كبرى على هذه الوحدات الصغيرة (١٢ ميغاوات) المخصّصة في الأساس لتأمين التدفئة المنزلية ، وبقسم منها للتدفئة الصناعية (بينها أبنية الزراعة الزجاجية) بالإضافة لإنتاج الكهرباء . وتغطي التدفئة المدنية في فنلندا حالياً من (٢٠) إلى (٦٠٪) من الحاجات المنزلية تبعاً للمدن .

وهناك مشروع يشتمل على إنشاء مركزين نوويين لإنتاج الكهرباء والبخار للتدفئة المنزليـــة ، الأول شرقي هلسنكي بقوة (٢٣٠٠) ميغاوات ، وسيبدأ بالعمل في حوالي (١٩٨٤) ، والثاني غربي هلسنكي بقوة (٢٢٠٠) ميغاوات ، وسيبدأ بالعمل في أوائل (١٩٩٠) .

ويوجد حالياً في بلجيكا وهولندا عدد من المنشآت المهمة للتدفئة المنزلية ، كما توجد أيضاً مراكز للإنتاج المزدوج للحرارة والكهرباء .

إن مشاكل التلوّث في سويسرا ، وخاصة في المدن الكبرى ، هي في ازدياد مضطرد . كما ان هناك مشاريع قيد الدراسة لتجهيز معظم المدن بتدفئة منزلية مغذاة بواسطة المراكز .

وستغذى المجموعات الرئيسية بالمياه الدافئة ، أما المساكن الاخرى فستزوّد بالتدفئة الكهربائية ، ويصبح من الممكن توفير حتى (٩٥٪) من الطاقة المعروفة حالياً لتدفئة هذه البلاد .

إن برنامج المانيا الفيدرالية للطاقة والمعلّن عنه في سنة (١٩٧٤) يفسح في المجال أمام إنشاء تدفئة مدنية مغذاة بمراكز إنتاج الحرارة والكهرباء . وهذا ما يؤدي إلى توفير الطاقة والمساعدة على حماية البيئة . وان اتساع شبكة التدفئة يجعل من الممكن على المدى الطويل استعمال الطاقة النووية لأغراض التدفئة .

الاستعمال الصناعي للحرارة المنخفضة

حالياً ، تعمل ثلاثة مراكز على حرارة منخفضة : مركز هالدن الصغير في النروج ، والوحدات الأربع في كالدرهول في بريطانيا ، ومركز دوعلاس بوينت في كندا .

ويعمل مركز هالدن (Halden) بقوة (٢٠) ميغاوات حرارية منذ عام (١٩٥٩) . إنه مجهّز بمفاعل مبطأ ومبرد بالمياه الثقيلة المغلية ، يستطيع أن يعطي في الساعة (٢٨) طناً من البخار بدرجة (١٨٥) مئوية لاستعمالها في مصنع الورق القريب منه . وتعطي المفاعلات الأربعة في كالدرهول (Calder Hall) العاملة بقوة (٢٤٠) ميغاوات كهربائية ما يقارب الـ (٦٠) طناً من البخار في الساعة لمركز صناعي قريب .

أما مركز دوغلاس (Douglas) المجهّز بمفاعل من (٢٢٠) ميغاوات كهربائية والمبطأ والمبرّد بالمياه الثقيلة تحت الضغط ، فإنه ينتج الكهرباء ويعطي بخاراً لمصنع مياه ثقيلة منذ (١٩٧٢) .

وسيجهّز مركز ميدلند في الولايات المتحدة بمفاعلين للمياه العادية مكيّفة الضغط (P.W.R.) وهما : بابكوك وولكوكس (Babcock and Wilckox) ، بقوة (٢٤٥٠) ميغاوات حرارية. ولكن الأول سيعمل فقط بطريقة مزدوجة : ينتج (٤٩٠) ميغاوات كهربائية ويعطي (١٨٠٠) طن في الساعة بخاراً للمصانع المجاورة . إن هذه الوحدة التي كان من المقرّر لها أن تعمل سنة (١٩٧٤) لن تكون جاهزة إلاّ في (١٩٨٢) . ويلحظ الاتفاق الموقع مع الشركات الحصول على البخار طيلة (٢٠) سنة .

وفي سويسرا وحدةٌ دخلت في الخدمة في أواخر عام (١٩٧٧) ، وهي مجهّزة بمفاعل للمياه العادية المكيّفة بالضغط من (٢٨٠٠) ميغاوات

حرارية ، وتعطي (٩٢٠) ميغاوات كهربائية كما تعطي في الوقت نفسه (٥٠) ميغاوات حرارية من البخار لمصنع الورق المقوى الذي يبعد عنها حوالي الكيلومتر الواحد . وهناك مشاريع أخرى مصمّمة لأمد طويل ولكنها لم تنجز بعد .

ويستطيع المركز النووي في الهند ، الموجود في (Rapasthan) حيث تعمل وحدة منذ نهاية (١٩٧٢) ، أن يؤمّن البخار لمصنع المياه الثقيلة في كوتا الذي يبنى حالياً . ويدرس في كندا مشروع بناء وحدة تؤمّن هدفين : الأول كهربائي ، والثاني بخاري بالإضافة إلى ما يعادل (٣٣٠) ميغاوات تعطى لمصنع جديد للمياه الثقيلة .

ما هو مستقبل الطلب على الحرارة النووية ذات درجة الحرارة المنخفضة ؟

سيستهلك قطاعا السكان والخدمات الفرنسيان ما يعادل (٨٥) مليون طن معادل للنفط عام (١٩٨٥) ، أي ما يقارب ثلث المصروف العام للطاقة الأولية . ولقد ازدادت مقطوعية الطاقة لهذا العام بما يقارب (٥،٧٪) في السنة ، وكذلك خلال السنوات الخمس عشرة الأخيرة . فحاجات التدفئة تأخذ منها ما يقارب الـ (٨٠٪) . وتبلغ هذه الحاجات العامة للتدفئة في عام (١٩٨٥) : (٦٥) مليون طن معادل للنفط تقريباً ، تؤمّن الكهرباء (١٥) منها ، والطاقاتُ الجديدة (شمسية وحرارية جوفية) (٣) منها . ويجب إذن تأمين الـ (٣٧) الباقية بواسطة المحروقات التقليدية.

فأيّ قسم من هذا الطلب الكامن تستطيع الطاقة النووية تأمينه ؟

القطاع الصناعي الفرنسي ، خارج صناعة الحديد والقطاع الطاقوي ، ستستهلك في عام (١٩٨٥) ما يقارب الـ (٦٦) مليون طن معادل للنفط (٢٥) منها للكهرباء و (٤١) للمحروقات التقليدية .

تستطيع الطاقة النووية إذن أن تحل جزئياً محلّ المحروقات القديمة لإنتاج (٦٧) مليون تيب (tep) التي ستستهلكها عام (١٩٨٥) القطاعات الصناعية والسكنية والتجارية الفرنسية. وان حوالي نصف سكان فرنسا هم منذ الآن موجودون في المدن التي تعدّ أكثر من (١٠٠،٠٠٠) نسمة والتي يوجد فيها القسم الأكبر من الخدمات.

إن النزوح إلى المدن لا يتوقّف، فالسوق المستفيدة من الطاقة النووية تستطيع إذن تأمين ما لا يقلّ عن (٥٠٪) من استهـلاك المحروقات التقليدية الناتجة عن القطاعات السكانية والتجارية والصناعية.

بالطبع لن تصل الطاقة النووية هذه السوق الكامنة ما لم تكن هذه الطاقة ذات مردود مربح. ونستطيع أن نجد الحالة نفسها عندما يكون عدد السكان كثيفاً وقطاعات التوزيع موسعة، وعندما يكون النشاط هاماً ونسبة الاستعمال السنوية مرتفعة في القطاع الصناعي. فالتقريب بين المدن والمجمعات الصناعية هو بالفعل عاملٌ مناسب.

ولقد باشرت المجموعة الاقتصادية الاوروبية (C.E.E.) دراسة حاجة السوق الاوروبية لمركز نووي ينتج البخار والكهرباء للحاجات الصناعية والسكانية والتجارية بقوة ألف ميغاوات كهربائية على الاقل.

وتستطيع هذه المفاعلات المزدوجة، حسب هذه الدراسة، أن تبلغ من (١٦٠٠) إلى (٣٥٠٠٠) ميغاوات، أي من (٤) إلى (٨٪) من القوة الكاملة للمراكز النووية للمجموعة في عام (١٩٩٠). وعندها، تغطي الطاقة النووية من (٣٥) إلى (٥٥٪) من حاجات البخار في الصناعة الكيميائية ومن (٨) إلى (١٤٪) من حاجات البخار للقطاعات الصناعية التالية: صناعة زراعية ـ غذائية ـ صناعة الأقمشة ـ صناعة الورق ـ صناعة السيارات ـ صناعة المطاط ـ صناعة الخشب. أي من (٢٠) إلى (٣٣٪) من حاجات البخار لمجموع القطاعات الصناعية السبعة المشار إليها.

وتستطيع مفاعلات المياه العادية أن تعطي البخار أو الماء الساخن بدرجة حرارة مرتفعة أكثر من المياه المستعملة في شبكات الضغط المنخفض (١١٠ إلى ١٢٠ درجة مئوية) ، أو من ذات الضغط العالي (١٦٠ إلى ١٨٠ درجة مئوية) .

ويظهر في هذه الحالة الأخيرة استعمال المفاعل للمياه العادية المكيّفة الضغط (P W.R) والتي تعطي بخاراً تحت ضغط (٢٠) وحدة بدلاً من (٥٠) للمفاعلات التي تعطي الكهرباء .

ويجب أن نحصل إذن على انخفاض بأسعار المواد المستعملة وعلى تقصير مهل الإنتاج ، وربما أيضاً على التبسيط في مفهوم مجموعة المفاعل .

فلماذا لا نستبدل الحوض الفولاذي الذي يحوي قلب المفاعل بصندوق صغير من الباطون المسلح الذي يساعد على حصر مجمل الحلقات الأولية ؟

في شبكة المياه الساخنة ذات الضغط المنخفض ، نستطيع التفكير ببطاريات منتجة للحرارة ومتحدّرة من البطاريات العاملة في عدة مراكز دراسات وتقنيات نووية . وتعمل هذه البطاريات بدون ضغط ، نموذجها بسيط وسهل الاستعمال وكلفة تشغيلها أقلّ بكثير من كلفة مفاعل المياه العادية المكيّفة الضغط . ويضاف إلى ذلك ، ان توزيع المياه الساخنة يبقى أقلّ كلفة من توزيع البخار وسعر الوحدة الحرارية يكون منخفضاً عند ذلك .

من المناسب أن نضيف أن باستطاعتنا استعمال الطاقة النووية بشكل خاص في مصافي النفط . وتعمل حالياً (٦٠٪) من احتياجات المصافي بحرارة أقلّ من (٣٠٠) درجة مئوية ، و (٤٠٪) بحرارة ما بين (٣٠٠) و (٥٥٠) درجة مئوية .

سوق تفويز الفحم

يسمح المفاعل ذو الحرارة المرتفعة بإعطائنا انطلاقاً من محروقات معدنية صلبة غازات محتوية على الكربون والهيدروجين. هذا التفويز للفحم يتمّ بواسطة بخار الماء أو الهيدروجين ضمن تفاعلات عالية الامتصاص للحرارة. وما لم يوجد مفاعل ذو حرارة مرتفعة، يصبح ضرورياً اشتعالٌ جزئي للفحم لإعطاء كمية الحرارة اللازمة. وبعد التصفية نحصل على خليط من اوكسيد الكربون والهيدروجين. ونستطيع استعمال هذا الخليط حالاً كما هو أو محوّلاً لغاز طبيعي تركيبي في مرحلة سابقة للحصول على الميتان (تفاعل عالي الامتصاص للحرارة) الذي يتمّ بحدود حرارة مرتفعة أي قادرة على إعطاء البخار للاستعمالات الصناعية أو الكهربائية. وطرق تفويز الفحم مدروسة وموسعة حالياً في العالم كله دون دخول مفاعلات للحرارة المرتفعة. ويظهر الجهد اللازم لانسجام المفاعلات ذات الحرارة المرتفعة متعلقاً بالتقنيات التقليدية كما يظهر نسبياً سهل التحقيق. وتنطلق هذه الدراسة من الفكرة القائلة بأن احتياطي الفحم في العالم، وخصوصاً في اوروبا، هو أكثر بكثير من احتياطي النفط والغاز الطبيعي. ويستطيع إذن هذا الاحتياطي أن يساعد بطريقة هامة على تغطية حاجات المستقبل الطاقوية في الدول التي تملك الفحم.

وعلى كل حال، تعترض طريق المحروقات المعدنية الصلبة عقبتان اثنتان. فهي لا تساعد أبداً على الاستعمالات المنوعة، لأن الشكل السائل أو الغازي هو عامة مربح أكثر. بالاضافة إلى أن كلفة اليد العاملة لإنتاج الطن الواحد من المحروقات عالية جداً وتزداد باستمرار. وبما أن نقل الغاز الطبيعي إلى مسافات بعيدة مكلّف جداً، لذلك يجب درس تفويز المحروقات المعدنية بكلفة استخراج ضئيلة. فتوزيع الغاز

الذي حصلنا عليه بشبكة مكثفة نسبياً يسمح بإنتاج الكهرباء والحرارة على مقربة من المستعملين : ان التخزين المؤقت لهذا الغاز يجعل مراحل إنتاج وإنفاق الطاقة مستقلة نسبياً. وهكذا هو يدخل مرونة قيمة في النظام الطاقوي العام. وهذه الدراسات للاستفادة من الفحم تجد ازدهاراً نسبياً في الولايات المتحدة والمانيا الفيدرالية.

ومهما يكن من أمر، فإن سوق تفويز الفحم هي عملياً محدودة في الولايات المتحدة والمانيا والبلاد ذات المناجم غير المستغلة والتي لا تدخل بالمنافسة مع مناجم الغاز الطبيعي. وعلى سبيل المثال، فإن تفويز مجمل الإنتاج الالماني للفحم أي (١٠٠) مليون طن بالسنة يتطلب قدرة أكثر بقليل من (١٦٠٠٠) ميغاوات حرارية، أي أكبر بقليل من قدرة المراكز النووية العاملة في هذا البلد والتي تساوي تقريباً (١٠٠٠٠) ميغاوات موزّعة على (١٠) وحدات.

إن مفاعل الحرارة المرتفعة يفكك الميتان إلى خليط من الهيدروجين واوكسيد الكربون بفاعلية عالية الامتصاص للحرارة. وهذا الخليط يُنقَل بنفقات ضئيلة إلى مراكز للاستعمال بعيدة نسبياً بعد تحويله إلى ميتان مع تحرير الطاقة، ثم إلى المفاعل لإعادة تحويله إلى هيدروجين واوكسيد كربون تبعاً للتفاعل المعكوس الآتي :

$$CH_4 + H_2O \rightleftarrows 3H_2 + CO$$

سوق جديدة للهيدروجين او الغازات المحولة : تحويل ركائز الحديد

نعلم ان عملية التهيئة تقوم بتحويل اوكسيد الحديد للحالة الصلبة أي لحرارة أقلّ من حرارة الذوبان. والمحول المستعمَل يمكن أن يكون صلباً (فحم – لينيت – فحم الكوك ، الخ) أو غازياً (هيدروجين

جاف أو غاز الماء) . وتؤمّن الحرارة الضرورية للعملية (التي هي خير ماصّة للحرارة) بأي محروق ، صلباً كان أو سائلاً أو غازياً لأنه يجب تسخين آلة التحويل أو الغاز المحول أو الاثنين معاً .

والمستحضر ، ويدعى اسفنجة الحديد ، هو بالإجمال مذوّب بالفرن الكهربائي حيث يتمّ التحويل والتطهير ، ونحصل عندئذ على نوع جديد من التجهيزات الجديدة ، مستقلّة استقلالاً تاماً عن تقنيات المصاهر الحديدية .

ونستطيع أيضاً مزج تقنيات تهيئة التحويل والتجهيزات الحديدية التقليدية بعدة طرق :

- بإرفاق حمولة المصهر الحديدي بمادة مهيّأة للتحويل .
- باستبدال الحدائد الداخلية بنسبة (٢٠٪) تقريباً في الحمولة مع الاوكسيجين بمادة مهيّأة للتحويل .
- أخيراً ، بإتمام عملية التهيئة للتحويل في الفرن نفسه مع حقن الغاز المحوّل من أسفل الحوض .

إن الأسباب التي دفعت صانعي الحديد إلى طرق البحث هذه واضحة ، فكلفة فحم الكوك وكلفة الحدائد تتزايد لأسباب يظهر انها نزاعية أكثر مما هي طبيعية .

من ناحية أُخرى ، ساعد حدثان هامان مستقلان عن تقنية تهيئة التحويل نفسها على تطوير هذه الطريق ، وهما : ظهور المصنع المصغّر ، وحرص البلاد المنتجة للمواد الأولية على إنتاجها محلياً . أن ظهور المصنع المصغّر هذا هو نتيجة كبر وحدات المصاهر الحديدية وارتفاع كلفة تمويل المجمعات الحديدية .

إن الوضع الجديد للبلدان المنتجة للحديد هو نتيجة الحرص على مصالحها في التصدير ، وعلى خلق صناعة حديدية تعطي هذه البلدان دخلاً مرضياً بالنسبة لحاجاتها وصادراتها دون اللجوء إلى المصاهر الحديدية الضخمة . فتهيئة التحويل تحمل الحل لأكثر المشاكل الكبيرة بالنسبة لعاملي الحديد ومنتجي المواد الأولية من التمويل إلى غلاء فحم الكوك والحدائد ، إلى الحرص على الاستقلال والتنمية .

فالقدرات السنوية الحالية العاملة هي بنسبة (٦) ملايين طن من الفولاذ ، بينما هناك (٢٣) مليون طن منتظرة أو مطلوبة وما يقارب الـ (٣٠) مليون طن قيد الدراسة .

لم تنتظر هذه التهيئة للتحويل إذن مفاعل الحرارة المرتفعة لتنمو . وعلى كل حال يجب ملاحظة انها ليست مرتبطة دائماً باستعمال محولي الغاز . وتعرض إحدى الطرق الأكثر انتشاراً (Le Midox) في الوقت الحاضر ، استعمال أيّ نوع كان من المحولات الصلبة أم السائلة أم الغازية .

إن استعمال مجموع الإنتاج العالمي للفولاذ عام (١٩٧٤) في التحويل لا يعطي إلاّ (٣٠٠٠٠٠) ميغاوات حرارية (يقدّر هذا الإنتاج بحوالي ٧٠٠ مليون طن) . ولا يؤلّف الفولاذ المنتج بهذه الطريقة حالياً سوى (١٪) تقريباً من الإنتاج العام ، أي ما يساوي (٣٠٠٠) ميغاوات حرارية أو (١٢٠٠) ميغاوات كهربائية . وبالخلاصة ، يظهر لنا ان التطبيقات الأكثر وعوداً للحرارة النووية هي :

لأمد قصير :

يستطيع إنتاج البخار والكهرباء ، وخصوصاً بخار مفاعل المياه العادية المبسطة حالياً بالقطاعات السكنية والخدمات والصناعية وخاصّة الكيميائية منها ، ان يوصل تدخل الطاقة النووية حتى (١٠٠٠٠)

و (٢٠٠٠٠) ميغاوات في الثمانينات في دولة كفرنسا .

إن إنتاج البخار ، انطلاقاً من مفاعل مياه عادية لمصانع إزالة الملح بواسطة التقطير ، سيتمّ خصوصاً في البلدان المنتجة للنفط ، وترتفع سوق مصانع المستقبل للتقطير لمعدل وسطي سنوي بنسبة (١٥٪) . ونستطيع تقييم القدرات الجديدة التي باستطاعتنا الحصول عليها في العالم في عام (١٩٧٥) حتى (١٩٨٥) بـ (٧) ملايين متر مكعب في اليوم ، وتبرّر مراكز إزالة الملح بحجمها الكبير اللجوء للطاقة النووية وبشكل أوضح للمراكز المزدوجة .

لأمد متوسط :

يمرّ استعمال مفاعل الحرارة المرتفعة لإنتاج الهيدروجين أو الغازات المحولة مع حرارة نووية (٩٠٠) درجة مئوية بتطوير النفط والميتان . ولا تبدو الأسواق التقليدية للهيدروجين ، حتى الموسعة منها لتهيئة تحويل الحديد ، كثيرة الأهمية حتى الآن .

ويظهر اليوم أن إثبات تقنية التطبيق لمفاعل إنتاج الحرارة الصناعية العالية سيكون في المانيا الفيدرالية . ونصل إلى هذه النتيجة بجهد الحكومة الحريصة على تنويع منابع الطاقة وجهد عاملي الفحم الذين يجدّون لتقييم إنتاجهم ، وكذلك بواسطة منتجي المفاعل الذين يرغبون في إيجاد منافذ جديدة لهم .

فإذا تكلّلت هذه الجهود بالنجاح التقني والاقتصادي نستطيع أن نأمل في حوالي الأعوام (١٩٨٥ ــ ١٩٩٠) بإيجاد مفاعل قادر على إعطاء حرارة تقدّر بحوالي (٩٠٠) درجــة مئوية . ومن الآن وحتى ذلك الحين ، ربما ينجح ، اليابانيون أيضاً بتطويرهم للمفاعل لعدة أهداف (تطوير الغاز الطبيعي ــ حرارة لتهيئة التحويل ــ كهرباء) ، ويتطوّر

مفاعل الحرارة العالية لأسباب تؤمّن الاستثمار الطاقوية . وبالإمكان بيع هذا المفاعل لبلاد منتجة للغاز وغنية برؤوس الأموال ، ومهتمة بتقييم إنتاجها بشكل أفضل . وعندما نحصل على كل هذا نعتبر أن خطوة تكنولوجية قد قطعت نحو الهدف النهائي ، ألا وهو إنتاج الهيدروجين بالتفكّك الكيميائي للماء .

ويمكن استعمال الهيدروجين في صناعة الحديد لتهيئة التحويل ويشجع على ذلك غلاء أسعار فحم الكوك والحدائد . وان خطط تطور سوق المصنع المصغّر للفرن الكهربائي تطوّر صناعة الحديد في البلدان المنتجة للنفط ، و (٢٣) مليون طن مطلوبة أو منتظرة ، وما يقارب الـ (٣٠) مليون طن قيد الدراسة . فممكن إذاً تصوّر الأسواق الأساسية لمفاعلات الحرارة المرتفعة ، وخصوصاً في البلدان المنتجة للغاز والنفط والحديد منذ الآن وحتى نهاية السنوات العشر (١٩٨٠ — ١٩٩٠) . وهذه المهلة ضرورية لتهيئة مفاعل الحرارة المرتفعة لا لتكثيف الطلب .

لأمد طويل :

إن إنتـــاج الهيدروجين بالتفكك الحراري للماء يسهله وصول مفاعلات مستقبلية ذات حرارة مرتفعة أكثر من (١٠٠٠) درجة مئوية ، أو إنهاء المفاعلات الصناعية لاملاح ذائبة ، وخصوصاً تنمية خطط مرضية لتفكك الماء . وكون إنتاج الهيدروجين مستقلاً عن الهيدروكاربون وسوق مفاعلات الحرارة المرتفعة يستطيع إذن التوصـــل إلى مستوى مرتفع جداً .

هذا الإنتاج الممكن للهيدروجين يأتي زيادة أو عوضاً عـــن الهيدروجين الالكتروني الذي سوف ينمّى خلال السنوات (١٩٨٠ — ١٩٩٠) . فهل يستطيع هذا الإنتاج المنافسة لخلق متتالٍ على أمد طويل لاقتصاد حقيقي للهيدروجين النووي ؟

ص 151 ، 152 ، 154

الأورانيوم أو النفط الجديد

احتياطي الاورانيوم في العالم

إن الاصطلاح المستعمـل لموارد الاورانيوم المضمونة بطريقة معقولة ، والاخرى المضمونة إضافيـاً ، هو مصطلح دولي تستعمله دول مجموعة التعاون الاقتصادي (.O.C.D.E) في تقرير دوري يصدر كل سنتين تقريباً بمؤازرة خبراء هذه البلدان . والموارد المضمونة لأسباب معقولة هي احتياطي مثبت، بينما نستطيع اعتبار الموارد المقدرة احتياطياً مرجحـا .

والموارد المضمونة بطريقة معقولة مؤلفة من الاورانيوم الموجود في المناجم ذات الكثافة والكمية المعروفتين ، وحيث من الممكن استخراجه ضمن حدود الكلفة المعقولة بفضل الأساليب العلمية الحديثة . أما تقدير الكميات فيرتكز على معطيات ناتجة عن عينات خاصة ، وعن تحديد دقيق لأحجام الأجسام المعدنية ، وكذلك على معرفة نوعية المناجم . وهذه الموارد المضمونة بطريقة معقولة هي بمثابة احتياطي حسب تعريف المنظمة المذكورة (.O.C.D.E) .

أما بالنسبة لموارد الاورانيوم المقدّرة فنقصد بها افتراض وجود كميات منه في بقية المناجم المكتشفة حالياً ، أو في مناجم مجهولة وواقعة في مناطق معروفة باحتوائها للاورانيوم .

ويرتكز تقدير كميات الموارد المقدّرة ، بشكل أساسي ، على معرفة خصائص أو مميزات المناجم الموجودة في هذه الأماكن .

ونستطيع الآن رسم الصورة التالية لهذا الاحتياطي مستندين على معطيات الوكالة الدولية للطاقة الذرّية ومنظمة التعاون والإنماء الاقتصادي (O.C.D.E.) .

ولكنه من البديهي أن يُنظر إلى أبعد من هذه التقديرات كما هي الحال بالنسبة للنفط .

فما هي أهمية كميات الاورانيوم التي يزيد ثمنها على (٣٠) دولاراً لليبرة الواحدة ؟

هــذا النوع من الأسئلة يشغل الأجهزة المسؤولة عن احتياطي الاورانيوم أكثر من أي وقت مضى . كما أن تقدير الموارد ، فيما عدا صنفين اكتشفهما الخبراء ، يبقى في غاية الصعوبة . وإذا جازفنا في هذا الميدان الشائك يمكننا تمييز الموارد التالية :

— موارد « محتملة » وفق الاعتبارات الجيولوجية ، ونعني المناجم ذات النمط التقليدي الواقعة في أماكن غير معروفة حتى الآن ، ولكن يعتقد ان الاورانيوم موجود فيها في الأعماق . وتقدّر كمية هذا الاورانيوم بستة ملايين طن .

— موارد « ممكنة » وفق الاعتبارات الجيولوجيــة الأقلّ دقّة . انها موارد ممكنة بمعنى أن إمكانيات اكتشافها تبقى دون « الموارد المحتمَلة » ، وتقدير كميتها يبقيها في حدود ستة ملايين طن أيضاً .

جدول رقم (٨)

احتيـــاطي الأورانيوم المقدّر (بملايين الأطنان)

درجة الجودة	الاحتياطي المقدّر	الاحتياطي المحتمَل	الاحتياطي الاجمالي
درجة اولى	٧٣٠	٦٨٠	١٤١٠
درجة ثانية	١٠٨٠	١٠٠٠	٢٠٨٠
المجموع	١٨١٠	١٦٨٠	٣٤٩٠

بالإضافة إلى ما سبق ، هناك صخور معدنيـــة تحتوي بعض الاورانيوم بطريقة غير مركّزة ، ولكن بكميات غير ضئيلة . إن استخراج هذا الاورانيوم يتطلب طرقاً معقدة وعالية الكلفة . وفي الصخور المعروفة اليوم ، تقدّر كمية الاورانيوم الفقير الممكن استخراجها بحوالي (١٧) مليون طن .

وأخيراً ، توجد موادّ فقيرة بالاورانيوم في مياه البحر ، حيث يسجّل استخراج الاورانيوم كلفةً باهظة .

والجدول التالي يلخّص كمية ثروات الاورانيوم هـــذه ويعطينا ما يعادلها بأطنان النفط . ولكن يجب أن نميز تمييزاً جوهرياً ، في هذه المعادلة ، بين استعمال الاورانيوم في مفاعل بمياه عادية وبين استعماله في المولد المفرط الفعالية ، ففي المراكز الاولى ، يعادل طن الاورانيوم (١٥٠٠٠) طن من النفط ، وفي الثانيـــة ، مليون طن من النفط ، أي (٧٠) مرة أكثر .

وهذه الأرقام تظهر أن احتياطات الاورانيوم محدودة نسبياً إذا كان الاورانيوم يستعمَل في مفاعل المياه العادية . ولكن هذا الاحتياط يصبح هاماً في حال استعمال المولّد المفرط الفعالية .

جدول رقم (٩)

احتياطي الأورانيوم المقدّر مع معادلته بأطنان النفط

نـــوع الاحتياطي	كمية الاورانيوم بملايين الأطنان	معادل الاورانيوم بملايين أطنان النفط في مفاعل بمياه عادية	في مفاعل مفرط الفعالية
احتياطي مضمون من الدرجة الثانية	١،٠٨	١٦	١٠٨٠
احتيـــاطي محتمل من الدرجة الثانية	١،٠	١٥	١٠٠٠
احتيـــاطي محتمل من الدرجة الاولى	١،٤٢	٢١	١٤٢٠
المجموع	٣،٥٠	٥٢	٣٥٠٠

وعلاوة على ذلك ، فإن قيمة الاورانيوم التجارية خلال السنوات الأخيرة لم تتعدّ (٥) إلى (٦) دولارات بالليبرة . أما الموارد المستثمَرة ذات الأسعار المرتفعة من (١٥) إلى (٣٠) دولاراً بالليبرة فلم تكن موضع دراسات عميقة ولا ذات تقديرات دقيقة .

جدول رقم (١٠)

موارد الأورانيوم في العالم الغربي لأقل من (٣٠) دولاراً بالليبرة

الـدولـة	بأقل من ١٥ دولاراً بالليبرة		من ١٥ إلى ٣٠ دولاراً بالليبرة		المجمـوع	
	موارد مؤمنة	موارد مقدرة	موارد مؤمنة	موارد مقدرة	أقل من ١٥ دولاراً بالليبرة	أقل من ٣٠ دولاراً بالليبرة
الولايات المتحدة	٣٢٠	٥٠٠	١٣٤	٣١٢	٨٢٠	١٢٦٦
افريقيا الجنوبية	١٨٦	٦	٩٠	٦٨	١٩٢	٣٥٠
كنـدا	١٤٤	٣٢٤	٢٢	٩٥	٤٦٨	٥٨٥
فرنسـا	٣٧	٢٥	١٨	١٥	٦٢	٩٥
استراليا	٢٤٣	٨٠	—	—	٣٢٣	٣٢٣
النيجـر	٤٠	٢٠	١٠	١٠	٦٠	٨٠
الغـابون	٢٠	٥	—	٠	٢٥	٣٠
السويـد	—	—	٣٠٠	—	—	٣٠٠
اسبـانيا	١٠	٩	٩٣	٩٨	٩	٢١٠
بلدان أخرى	٨٠	٣١	٣	٧٧	١١١	٢٥١
المجموع	١٠٠٠	١٠٨٠	٧٣٠	٦٨٠	٢٠٨٠	٣٤٩٠

بالإضافة إلى ما ورد في الجـــدول يمكننا ذكر الملاحظات التاليـــة :

- ان الولايات المتحدة التي تحتاج إلى (٥٠٪) من إنتاج العالم الغربي تملك (٣٠٪) فقط من الاحتياطي، ويجب زيادة حوالي (٩٠ ٠٠٠) طن على هذا الاحتياطي كنتيجة ثانوية من صناعة أسيد الفوسفور ومن مناجم النحاس
- تملك كندا نوعين من المناجم ، وأهمها مناجم الصخور المندمجة بالاورانيوم في اونتاريو ، حيث تبلغ الكثافة (١، ٠٪) . كما تملك بعض المناحم الفيلونية ذات الكثافة غير الثابتة .
- نجد في افريقيا الجنوبية الاحتياطي الرئيسي في مناجم الذهب ، حيث الكثافة ضعيفة (من ٠٢، ٠ إلى ٠٠٥، ٠ ٪) . وإنتاج الاورانيوم مرتبط بإنتاج الذهب ولا يستطيع التطور مستقلاً ، والاحتياطي المهم موجود في منجم فقير في جنوب غربي افريقيا حيث لا تزيد الكثافة عن (٠٣، ٠ ٪) ، ولكن سهولة الاستثمار تعوّض عن هذا الفقر .
- ان تطوُّر البحوث في اوستراليا هو حديث النشأة واشكال المناجم متنوّعة جداً كما ان المناجم المكتشفة عام (١٩٧٣) قادرة على التطور بسرعة . وكان قد أعلن عن مضاعفتها في بداية عام (١٩٧٤) .
- المناجم في فرنسا صغيرة الحجم ، أما مردودها فيختلف بين مكان وآخر .
- أما في النيجر والغابون فإن المناجم واسعة ورسوبية ، وتقديرها غير مكتمل بعد .

إن أكثر الاكتشافات الهامّة في الولايات المتحدة وكندا وافريقيا الجنوبية وفرنسا والغابون تعود إلى الخمسينات حيث كانت التنقيبات الواسعة خلال هذه السنوات قد بلغت أوجها . وأمنت جهود البحث المعتمّدة من ذلك في هذه البلدان نمواً بطيئاً في ارتفاع المخزون بطريقة غير منظمة ومتواضعة ، بالرغم من الاستثمار المحقق .

أما الاكتشافات الكبيرة المحققة بعد هذه المرحلة فهي اكتشافات النيجر في الستينات ، وكذلك اكتشافات اوستراليا الحديثة العهد وجنوب غربي افريقيا . وهناك مقاطعات شاسعة في العالم الغربي تحوي موارد كامنةً ضخمة ، كقارة جنوب أميركا وقسم كبير من افريقيا وجنوب شرقي آسيا . والتنقيبات عن هذه الموارد جزئية حتى الآن . فالاورانيوم إذن ، معدن منتشر في أقسام مختلفة من العالم .

اقتصاديات الاورانيوم الطبيعي

بعد درسنا لتقدير احتياطي الاورانيوم العالمي ولنقاط التشابه بينه وبين القوة المعروفة ، نجد أن درسه بطريقة أكثر تفصيلاً هو أمر ضروري ، نظراً لأهميته ولتوزيع الاحتياطي العالمي ولاقتصاديات الاورانيوم .

١ – ما هي مصادر الأورانيوم ؟

الاورانيوم ، معدن شائع الانتشار في القشرة الأرضية ، هو المادة الوحيدة الطبيعية المحتوية على عناصر قابلة للانشطار وبالأخص نظيره (٢٣٥) ، الذي يشكّل (٠،٧٪) والنظير (٢٣٨) الذي يشكّل (٩٩،٣٪) من تركيبه .

ونصنف مناجم الاورانيوم ، دون الحكم هنا على كيفية تكوينها، على نحو مبسّط إلى أربع فئات :

المناجم الرسوبية المكوّنة من نماذج مختلفة تبعاً لوضع الأحواض ولتعبئتها . فهي تكوّن حالياً ما يقرب (٥٠٪) من احتياطي الاورانيوم المكتشَف . ولهذا النوع تنتمي مناجم غرب الولايات المتحدة والنيجر والغابون وفرنسا . وتقدّر كثافة هذه المناجم بمعدّل وسطي يبلغ (٠،٢) إلى (٠،٣ ٪) .

الصخور المتماسكة : التي تؤلّف (٣٠٪) من الاحتياطي العالمي المكتشَف . وتدخل في هذه الفئة مناجم بحيرة (اليوت) الضخمة الكندية حيث تبلغ الكثافة (٠،١٪) ، وكذلك مناجم افريقيا الجنوبية حيث الكثافة من (٠،٠٢) إلى (٠،٠٥٪) فقط . وهذه المناجم تمتاز بفحواها الغني جداً بالبوريطس . وفي افريقيا الجنوبية لا نحصل على الاورانيوم إلاّ بعد استخراج الذهب من مناجمه التي تعتبر هنا من أضخم مناجم الذهب في العالم .

المناجم الفيلونية ومشتقاتها : كثافتها تختلف بين مكان وآخر ، وتصل بشكل استثنائي إلى عدة عشرات بالمئة . ونجد في هذه الفئة أكثر مناجم فرنسا واوروبا الوسطى (تشيكوسلوفاكيا) ، وكذلك أكثر مناجم اوستراليا وبعض مناجم كندا . ولا تؤلّف المناجم الفيلونية سوى (١٢٪) من الاحتياطي المعروف حالياً، ولكن أهميتها النسبية كافية في الاحتياطي المتوقّع .

المناجم المعدنية : وهي منتشرة في الصخور البلورية . كثافتها ضعيفة في الغالب ، أما التجميع الصادر عن تغييرات ثانوية فاستغلاله معتبر في أكثر الأحيان غير ممكن، وهو حالياً لا يشغل المنقبين إلاّ نادراً . ونستثني من ذلك الاكتشاف الحديث لمنجم (روسينغ) في جنوب

غربي افريقيا الذي يحتوي على أكثر من (١٠٠،٠٠٠) طن من المعدن بكثافة من (٠،٠٣) إلى (٠،٠٥٪) . ويستطيع هذا المنجم في المستقبل تأمين مورد هام للاورانيوم .

وتؤلف بعض تكوينات النضيد المفحم مناجم شاسعة ومنتظمة ولكن بمردود ضئيل . والنضيد السويدي وحده يحتوي على عدة مئات من آلاف الأطنان من المعدن بكثافة (٠،٠٣٪) تقريباً . وهذا النوع من النضيد هو قيد الدراسة لمعرفة إمكانية استخراجه لأن الشروط الاقتصادية الحالية لا تساعد على ذلك .

المناجم الرسوبية للفوسفات : تحتوي دائماً وبشكل ضعيف على الاورانيوم بنسبة تتراوح من (٠،٠٥) إلى (٠،١٥٪) ، وفي بعض الأحيان أكثر من ذلك . ان الاورانيوم الموجود في البلور صعب الاستخراج ، كما انه لا يستخرج إلاّ مع اسيد الفوسفور . ومن المحتمل أن يكون الاحتياطي ضخماً ولكن استخراجه حالياً محدود جداً .

وأخيراً ، لمتابعة تحديد مناجم الاورانيوم المختلفة ، يجب أن نذكر المحيطات التي تحوي (٤) مليارات من الأطنان حيث الكثافة ثابتة ولكن ضعيفة (من ٣ إلى ٤ أجزاء بالمليار) . واستخراج هذا الاورانيوم لم يتعدّ بعد حدود النظريات .

إن الكثافة الوسطية لمناحم الاورانيوم الممكنة للاستثمار تتحدد عامة بحوالي (٠،٠٢٪) في الشروط الاقتصادية الحالية . فمردود مناجم الاورانيوم إذن هو أقلّ بكثير من مردود مناجم المعادن المستعملة كالنحاس مثلاً الذي يشكّل حوالي (٠،٦ – ٠،٧ ٪) في المناجم الكبيرة أي من (٣) إلى (٣) مرات ونصف أكثر .

وإذا تساءلنا عن مصادر الاورانيوم الطبيعي يجدر بنا أولاً أن نذكر ان الاحصاءات لم تشمل إلاّ العالم الغربي . فموارد الصين والاتحاد السوفياتي وبلدان اوروبا الشرقية بقيت مجهولة . ونعلم ان هذه البلدان ، وخاصّة اوروبا الشرقية التي لعبت دوراً تاريخياً في اكتشاف الاورانيوم ، تحتوي على احتياطي هائل ولكنها حالياً لا تدخل في سوق الاورانيوم المعروفة في العالم الغربي .

وهكذا فالاحصاءات المعلنة ترتكز عـلى نوعين من المعايير : درجة معرفة الموارد ، وكلفة الاستخراج المحتملة . أما الكلفة التي تؤخذ اليوم كمقياس فإنها على مستويين . اما مستويا الكلفة الحاليان فهما (١٥) و (٣٠) دولاراً لليبرة الاورانيوم بسعر (١٩٧٥) .

ويجب عدم التوهُّم بالنسبة لدقة الأرقام ، لأن المقاييس المأخوذة لتحديد الاحتياطي المضمون ، وعـلى العموم لتقدير الموارد الممكنة ، ليست متناسقة كلياً بين بلد وآخر .

وهذا بعكس النفط ، لكن المناطق الكبرى الاورانيومية ليست عديدة كمناطق النفط .

٢ ــ الإنتاج وقدرة الإنتاج :

لقد تزايد إنتاج الاورانيوم الطبيعي بسرعة كبيرة في الخمسينات تحت ضغط الحاجات الحربية على المدى الطويل لتجارة المراكز النووية المرتقبة . وتشجع سياسات الدول الدراسات والتنقيبات السريعة عن مناجم جديدة للاورانيوم . وفي الولايات المتحدة ، وعلى نمط أخفّ في فرنسا ، هناك وثبة نحو الاورانيوم وازدهار في المناجم الصغيرة النّاتجة عن التنقيبات

المباشرة لاكتشافات موفقة للمنقبين . ثم هناك مناجم الغرب الكبرى في الولايات المتحدة ، ومناجم بحيرة اليوت في كندا ، وفي الوقت نفسه مناجم الذهب في افريقيا الجنوبية .

لقد وصل الإنتاج في عام (١٩٥٩) إلى (٣٣٠٠٠) طن . وكان رقماً قياسياً . ولكن منذ هذا التاريخ ظهر أن تطوّر الطاقة النووية سيكون بطيئاً أكثر مما كنا نتصوّره . فالولايات المتحدة ، التي كانت من أهم المشترين ، تراجعت إلى الوراء لا بل أوقفت مشترياتها تماماً اثر انقضاء مهلة عقودها . كما أوقفت بعض البلدان الاخرى استثماراتها أو خففت من وتيرتها .

ولم يسترجع الانتاج بعض التقدم إلاّ خلال هذه السنوات الأخيرة ففي الجدول شرح عام للوضع عام (١٩٧٤) ، والامكانيات الموجودة في هذا العام والمرتقبة لأعوام (١٩٨٠ — ١٩٨٥) .

ولكن الموضوع الأساسي هو التأكّد من قدرة إنتاج الاورانيوم في الوقت المناسب لتأمين الحاجات النامية لبرامج المراكز النووية . فمعدل المهل لهذه التجهيزات الضرورية يصل أو يفوق العشر سنوات . فمن المحتّم إذن تحضير صناعة الاورانيوم قبل مدة من ورود طلب الاورانيوم المنتظر . أما المردود فمؤمّن بطريقة أكيدة .

إن المخاطرة الجوهرية الكامنة هنا هي عدم استقرار السوق ، مما يؤخر النموّ المرضي للبرامج النووية . ولا نستطيع تحسين هذا النموّ إلاّ بتنسيق للتجهيزات لأمد طويل وبتنظيم دولي .

جدول رقم (١١)

إنتاج الأورانيوم الحـــالي والمتوقّع في بعض الدول
(بآلاف الأطنان في السنة)

الـــدولـــة	إنتـــاج سنة١٩٧٤	إمكانيات متوفـّرة سنة١٩٧٤	إمكانيات متوقعة لسنة١٩٨٠	إمكانيات متوقعة لسنة١٩٨٥
افريقيا الجنوبية	٢٧٠٠	٢٧٠٠	١١٢٥٠	١٣٨٠٠
اوســـتراليا	—	—	٣٢٦٠	٥٠٠٠
كنـــــدا	٣٤٢٠	٤٦٠٠	١٠٠٠٠	١١٥٠٠
الولايات المتحدة	٨٨٠٠	١٣٥٠٠	٢٥٠٠٠	٤٠٠٠٠
فـــرنســـا	١٦١٠	١٨٠٠	٣٠٠٠	٣٥٠٠
الغـــابون	٤٣٦	٨٠٠	١٢٠٠	١٢٠٠
النيجـــر	١٢٥٠	١٢٠٠	٤٠٠٠	٦٠٠٠
مختلـــف	٢٣٤	٥٠٠	٢٢٩٠	٦٥٠٠
المجموع	١٨٤٦١	٢٥١٠٠	٦٠٠٠٠	٨٧٥٠٠

٣ ــ ما هي مصادر التوريوم؟

التوريوم معدن منتشر انتشار الاورانيوم ، ويستطيع أيضاً أن يؤلِّف مادة أساسية للقوة النووية . ففي عام(١٩٧٣) ، كان احتياطي التوريوم في العـــالم الغربي يبلغ نحو (١٢٠٠٠٠٠) طن . أما كلفة

استخراجه فلم تعرف إلاّ في الولايات المتحدة وكندا حيث لم تزد عن (١٠) دولارات بالليبرة .

إن الإنتاج الوحيد الحالي هو للحاجات غير النووية . وهو يبلغ بضع مئات الأطنان في السنة ، انطلاقاً من المونازيت المستخرَج بمعدل (١٠٠٠٠) طن إلى (١٢٠٠٠) طن في السنة من رمل الشواطىء .

ويصعب التكلُّم عن الأسعار في سوق التوريوم . فالكميات المباعة ضئيلة جداً لتكون ذات دلالة . وفي عام (١٩٧٣) كانت الأسعار بقيمة دولارين ونصف بالليبرة في النيترات التي تحتوي (٤٥٪) من التوريوم ، وبلغت (١٠) دولارات بالليبرة في اوكسيد السيراميك الذي يحوي (٩٩،٩٪) من التوريوم .

إن مفاعل الحرارة المرتفعة بقوة (١٠٠٠) ميغاوات لا يصرف إلاّ (١٧) طناً تقريباً طوال أيام عمله المقدّرة بـ (٢٠) عاماً. ونستطيع القول إذن انه حتى في حالة تطوير مفاعل للحرارة المرتفعة فتموينه بالتوريوم لا يشكل أيّ مشكلة . فالاحتياطي المعروف الآن كثير العطاء والدراسات المنهجية (التي لم تتابع قط) تستطيع تنميته بطريقة أساسية ، وطرق الاستخراج لا تشكّل عقبة حقيقية .

٤ ـ تخزين الأورانيوم المشبع :

إن تقنية المفاعل النووي التي فرضت وجودها على العالم ، على الأقلّ خلال عشرات السنين ، هي تقنية مفاعل المياه العادية والاورانيوم المشبع . وتعتبر مشكلة تخزين الاورانيوم المشبع إذن جد أساسية .

فكيف تقابل الدول الصناعية هذا الوضع ؟

يتمتع الوضع الفرنسي بفضل معمـــل بيرلات (Pierrelate) بامتياز القابض على تكنولوجيا فصل النظائر بواسطة الغاز المنتشر .

ولكن مصنع اوروديف (Eurodif) الذي يستعمل التقنية نفسها لم يبدأ إنتاجه إلاّ في أواخر العقد الحالي . ويجب تأمين الحاجات حتى ذلك الحين . لذلك ، طُلبت المعونة من الولايات المتحـــدة ، ولكن إمكانياتها كانت مستنفدة فرفضت العقود الجديدة والموقعة قبلاً .

ووقّعت فرنسا عقود تموين مع الاتحاد السوفياتي الذي بدأ يفتح أبوابه عام (١٩٦٨) . وكانت فرنسا أول من وقّع معه عقـــداً لشراء الاورانيوم المشبع . وعلى كل حال ، فالاتحاد السوفياتي يملك منبعاً مجهول الامكانيات . لذلك فهو لم يبد أبداً نيّته لتنمية إنتاجه ولا لاستخدام مراكز جديدة . ويضاف إلى ذلك انه لم ينشر أبداً معدلاً عاماً مع انه يظهر ميلاً لاتباع الاسلوب الاميركي . فمن المحتمل أن يأتي يوم وتضعف فيه قدرة البيع النووية هذه أمام تزايد حاجات الكتلة الشيوعية ، ومن هذا الوضع الحرج انطلقت فرنسا بمشروع اوروديف (Eurodif) . لقد قرّر الشركاء البلجيكيون والايطاليون والاسبانيون والفرنسيون إنشاء مصنع باتفاق مشترك في عام (١٩٧٣) ، كما وقّعت عقود مع بلدان أُخرى ترغب بالاستفادة من هذا المصنع . والعقد الأكثر أهمية وقّع سنة (١٩٧٤) مع اليابان . وان زيادة الحاجة النووية قد تؤدي سريعاً لتخطي قدرة مصنع اوروديف المقدّرة الآن بـ (١١) مليون وحدة عمـــل انشطاري (U.T.S.) أو (٣) ملايين كيلوغرام من الاورانيوم المشبع إلى درجة (٣٪) . وتبدو من الآن ضرورة إقامة وحدة إنتاج جديدة لتغطية الحاجات الاوروبية في سنة (١٩٩٠) .

إن إشباع الاورانيوم لا يشكّل ضرورة لمفاعل المياه العادية فقط ، بل يأخذ طابعاً استراتيجياً، نظراً للتقنية الصعبة ولتعقيده الصناعي وللعدد القليل من البلدان التي توصّلت لاكتشافه. وتبذل كل دولة جهدها لتنويع مصادره على أمل تهيئة تقنيتهـــا الخاصّة . ويظهر هذا في التطوّر الهام

للتقنيات الجديدة في المانيـــا ، وبريطانيـــا ، وهولندا ، ذلك التطور الذي أدّى إلى إنشاء مجمعات مشتركة مع برنامج إنتاج من (٤٠٠٠٠٠) وحدة عمل انشطاري (.U.T.S) في السنة (١٩٧٦) ، والذي يصل إلى (٢،٣) مليون في السنة في أواخر عام (١٩٨٢) . وتخصّص اليابان أيضاً ميزانية مهمة لهذه الخطة ، وتطمح إلى بلوغ (٥) ملايين وحدة في السنة حوالي عام (١٩٨٥) . وقد نشطت طرق أُخرى أيضـــاً : لايزر ، تبادل كيميائي . وتبحث كل دولة عن طريقة تمكّنها من الاستغلال السريع ، وتسمح لها بتأمين نوع من الاستقلالية الوطنية .

وهناك في الولايات المتحدة (٣) معامل انشطار للنظائر بواسطة انتشار الغاز ، تعادل في مجملها تقريباً (٣) مرات قوة مصنع اوروديف . وتعمل الولايات المتحدة على إنشاء معامل صغيرة ذات فائدة محلية ، ومن المنتظر قيام عدة تجمعات لشركات الكهرباء التي تنشيء معملها الخاص مما يسمح لها بالهروب من احتكار السلطة النووية أو احتكار المنتجين . ولكن المدافعين عن اللايزر يريدون أيضـــاً ، وبسرعة ، إثبات وجودهم ، لأن التقنية الجديد تجد صعوبة في التمركز في السوق مع مرور الزمن .

إن البلدان المنتجة بكثرة للاورانيوم هي بلدان فتية تملك أيضاً موارد أولية أُخرى عديدة ، وخصوصاً القوة المائية والمحروقات الاحفورية. وهذا ما يؤمّن لها الكهرباء بسعر بخس . فمن المهم إذن للدول الصناعية ، التي تتمنى تشجيع صناعتها الاستهلاكية قبل استنفاد مصادرها من المواد الأولية ، بيع الاورانيوم المحضّر تحضيراً جيداً . وعملية إشباع الاورانيوم تدخل في هذا النطاق . وهكذا فإن كندا واوستراليا اللتين لم تطوّرا تقنية الاشباع ـ ران لاتباع اسلوب جديد ، وان حاجتهما للقوة الكهربائية تؤهلهما ـ تقنية الانتشار الغازي .

وافريقيا الجنوبية هي ثالث بلد عالمي منتج للاورانيوم ، وهي تنمي طريقتها الخاصّة في الاشبـــاع لتحسين الاستفادة من مناجم الاورانيوم الغزيرة واحتياطيها الضخم للفحم في آن واحد .

وأخيراً ، هناك بلدان أُخرى لديها مصادر اورانيوم أقلّ من افريقيا الجنوبية بكثير ، ولكنها تواجه ازدياداً في الحاجة إلى الطاقة ، مثل البرازيل وزائير . وهذه الدول على استعداد لاستقبال صناعات ضخمة مستهلكة للطاقة ، وخصوصاً مصانع الاشباع . ولكن النهوض بهذه المشاريع يتطلب بعض الوقت ولا يمكن تحقيقه إلاّ بالتعاون مع دولة متقدمة تقنياً .

ومنذ مطلع عام (١٩٧٤) ، مرّت سوق الاورانيوم المشبع من حالة وفرة إلى حالة أزمة . وتحسّبت فرنسا منذ سنين عدة لهذا الأمر ، وكان محور البحوث الصناعية في مفوضية الطاقة الذرية دراسات أدّت إلى قرار بناء مصنع اوروديف ، ولكن هذا المصنع لن يكون سوى واحد من (١٥) إلى (٢٠) مصنعاً ذات قوة كبيرة ، ستنشأ من الآن حتى عام (٢٠٠٠) . وهناك تنبؤ بعجز عالمي في أوائل العقد المقبل .

وفي اوروبا ، يدرس جدّياً مشروع بناء مصنع جديد لانتشار الغاز ولتنمية النبذ (Centrifugation) . وتأمل اليابان تأمين قسم مهم من حاجاتها ابتداء من عام (١٩٨٥) . وفي كندا تدرس مشاريع عديدة في كيبك وشاكتشوفان (Shakatchevan) . وافريقيا الجنوبية تتابع مشاريعها في إقامة المعمل .

في الولايات المتحدة ، ما يزال الوضع الناتج عن الجهود المبذولة لتحويل صناعة الاشباع من القطاع العام إلى القطاع الخاص غامضاً . وهناك عدة مبادرات ترتسم في هذا الاتجاه ، فقيد الدرس عدة مصانع

ينتج كل منها (٣٠٠٠٠٠) وحدة عمل انشطاري في السنة وتبدأ عملها في أوائل الثمانينات . وتجهيزات أولية لمعامل تنتج من مليون إلى مليوني وحدة في السنة تنتظر في منتصف الثمانينات .

وفي هذه الحال ، كل منتج يسعى لتركيز وضعه ، فلكي يتعاقد زبون من الزبائن يجب أن يثبت المنتج قدرته ، وهذا يكون بإنشاء مراكز بقوة ضعيفة للتجربة ولإبراز المقدرة ، ولكن عندما يجد هذا الزبون أن حاجاته المستقبلية غير مؤمّنة ، فعند ذلك لا يضع ثقته إلاّ في التجهيزات التي أثبتت فعاليتها . وعلى كل حال فالتوظيفات المالية المهمّة الضرورية لإنشاء المعامل يجب أن تكون مغطاة وهذا يفرض تعاقداً على أمد طويل . وهذا التعاقد بين المنتج وزبائنه يكوّن عاملاً في استقرار السوق وفي استقرار أسعارها .

٥ – سوق الأورانيوم والمراقبة العالمية :

تحتلّ سوق الاورانيوم مركزاً يختلف عن مراكز المواد الأولية الاخرى . فخلال الحرب العالمية الثانية وخلال السنوات التي تلتها ، جرى التنقيب عن الاورانيوم بتحريض من المنظمات الحكومية للدول العظمى التي كانت تسعى إلى تنمية القوة النووية لأهداف سلمية ولصناعة الأسلحة النووية . وكانت هذه المنظمات غالباً من المنتجين والمشترين للاورانيوم ، وهكذا فرضت تحت ستار سرية الدفاع القومي مراقبة دقيقة على الاحتياطي والإنتاج والبيع . وقد أدّى الاهتمام بتأمين مصادر وطنية للطاقة إلى تبرير إبقاء الرقابة المستمرة على الإنتاج والسوق .

وأُضيفت إلى الرقابة الوطنية رقابات عالمية في إطار الوكالة العالمية للطاقة الذرية (.A.I.E.A) والجمعية النووية الاوروبية (Euratom) . وسمحت البلدان التي وقّعت اتفاق عدم تكاثر الأسلحة النووية بتصدير

الاورانيوم شرط استعماله للأغراض السلمية . وبالإضافة إلى ذلك ، فالاهتمام بتأمين سلامة التموين الوطني قاد الولايات المتحدة إلى التمسك ببعض الترتيبات التي تسمح بمراقبة وتنسيق المعاملات المتفق عليها لأهداف مدنية ومنعها في الحالات القصوى .

وبهذا الشكل ، أوجدت روما للمجموعة الاوروبية وكالة التموين ضمن الاوراتوم (Euratom) التي تنظّم الاتفاقيات الجارية بين الدول الأعضاء والعالم الثالث .

وقرّرت الولايات المتحدة أن تطلق قدرة صناعية للانتاج بفضل العقود ذات الأمد الطويل في الخمسينات. وقد كانت تملك احتياطياً للاورانيوم مقدّراً بأكثر من (٥٠٠٠٠) طن . وحَمَت أيضاً صناعتها الوطنية ، وذلك بمنع الاستيراد . وسيرفع هذا المنع تدريجياً حتى مطلع الثمانينات مع انخفاض الاحتياطي .

ولا يستبعد أن يتبع هذا بمنع التصدير . وإلى هذه الترتيبات التي تقيّد بشكل فعّال حرّية السوق ، نضيف القلق الناتج عن اتخاذ بعض البلدان الموردة احتياطاتٍ مستوحاةً من بلدان الاوبيك للتأثير على الأسعار .

٦ ـ مميزات العرض الأورانيومي :

تبدأ السلسلة الصناعية للاورانيوم الطبيعي بالتنقيب عن المناجم واستغلالها ، كما ان تحويل المواد النووية الصرفة يشكّل سلسلة تؤدي إلى معدن الاورانيوم أو اوكسيد الاورانيوم (UO_2) المستعمَل لصناعة محروقات مفاعل الاورانيوم الطبيعي ، أو إلى مادة هيكسافلورور (Hexaflorure) المخصّصة لإشباع الاورانيوم بالعناصر التشققية في مصانع الانشطار النظرية ، وإنتاج المعدن واوكسيد الثاني لا يؤلف حالياً

سوى هدف ثانوي بينما أصبح الهدف الأساسي لهذه الصناعة هو إنتاج مادة هيكسافلورور المشار إليها .

ومع هذا ، فإن الشكل المتداوّل للاورانيوم في السوق التجارية هو « مركّز » (U_3O_8) الذي يحوي من (٦٠) إلى (٨٠٪) من الاورانيوم الذي يؤخذ في نهاية عملية الاستخراج من المنجم .

وهناك عدة أسباب تفسر اختيار هذه الدرجة للتعريف عن إنتاج معدّ للتسويق :

- المركّز هو مرحلة انتقالية مهما كان الشكل النهائي الذي سنعطيه للاورانيوم .
- شكله الخارجي وكثافته يسمحان بنقله وبتخزينه دون أن يؤثر ذلك على سعر الكلفة النهائي .
- تسعيرة المركّز تتغير تبعاً لفحوى وطبيعة المناجم وشروط الاستخراج ، بينما عمليات التحويل المتتالية والتي تنطبق على إنتاج ثابت نسبياً لا تخضع إلاّ قليلاً للتغييرات البارزة .

إذن ، سعر المركّز هو الذي يؤلف العنصر المميز لسوق الاورانيوم الطبيعي ، وحتى لو لمسنا ، مع التطوّر النووي ، أن الصفقات بين المنتجين المستعملين تتم أكثر فأكثر على مستوى الإنتاج الأكثر تحضيراً ، وخصوصاً إنتاج هيكسافلورور الاورانيوم .

إن اقتصاديات التنقيب عن الاورانيوم هي مشكلة معقّدة ، فالبحث عن الاورانيوم ، كما عن كل مادة معدنية ، هو توظيف يحمل منذ البداية ، مخاطر الخسارة . والمشكلة الدائمة تكمن في الوصول إلى تقدير المتاعب بالنسبة لأمل النجاح في كل مرحلة من التنقيبات . فالمصاريف تتغير تبعاً لطبيعة المنجم ووضعه الجغرافي والوصول إليه .

فخلال الخمس والعشرين سنة الأخيرة ، كانت بعض الاكتشافات بدون تكاليف باهظة رغم قلّة المعلومات الجيولوجيـــة . وفي بعض المقاطعات كانت بعامل الصدفة ، وفي مناطق أخرى نستطيع التكلّم عن اكتشافات « مجانية » ، كما هي الحال في مناجم افريقيا الجنوبية حيث نجد الاورانيوم مع الذهب . وإذا أردنا أخذ هذه الاكتشافات ذات الكلفة الضئيلة بعين الاعتبار يجب أيضاً ألاّ نسقط من حسابنا العمليات السلبية .

وكانت كلفة التنقيبات في الماضي بنسبة دولار واحد بالليبرة (ما يعادل ٢،٦ دولار لكيلوغرام الاورانيوم) . ولقد درست المقاطعات الأسهل للبلوغ في حين يجب انتظار زيادة في مصاريف التنقيب . ففي المقاطعات المعروفة ، ينبغي أن يكون السبر أكثر عمقاً ، وفي المقاطعات الجديدة يكون الولوج إلى أعماقها أكثر صعوبة .

بالإضافة إلى ذلك ، يجب ألاّ ننسى التضخم المالي العام الملاحظ منذ مدة . ومهلة تأكيد وجود منجم للاستثمار تتعدى العشر سنوات في مناطق صعبة وغير معروفة جيولوجياً ، ولكنها غنية بهذا المعدن .

وفي بلد غير مصنع ، يجب إيجاد الحاجات غير المتوافرة والضرورية للتنقيب كمصادر الطاقة والماء والحامض ، التي تجعل مردود الاستثمار أقلّ مما هو عليه في الدول المصنعة . فمهلة إنشاء مجموعة صناعية تتغيّر تبعاً لمعطيات بداية المشروع ضمن ظروف تنميته . وفي الظروف الأكثر ملاءمة ، نستطيع توقّع مهلة من سنتين لتنقيب واسع ، وسنتين لتحصيل معرفة كافية للاحتياطي وللدراسات التمهيدية الضرورية لتأمين دخل المشروع ، وسنتين للتجهيز الصناعي ، أي ما يقارب مجموعه الست سنوات . وهذه المهلة تتضاعف في بلد غير مصنّع . وكلفة الإنتاج ، هي أيضاً كثيراً ما تتغير من مركز تنقيب لآخر ، فتقديرها لإنتاج عام

(١٩٧٥) هو من (٢٠) إلى (٣٠) دولاراً لكيلوغرام الاورانيوم الموجود في المناجم. وحصّة الإخراج والنقل تؤلّف تقريباً ثلثي هذا المجموع ، والباقي مخصّص لمعالجة المواد الأولية . وتضاف إلى هذه الكلفة المباشرة قيمة الأعباء المالية التي تتراوح بين (١٠) و (٢٠) دولاراً لكيلوغرام الاورانيوم ، وكذلك بضعة دولارات للتكاليف العامة : كالضرائب مثلاً .

٧ – طلب الأورانيوم :

تبلغ حاجة مفاعل مياه عادية (من النوع التقليدي بقوة ألف ميغاوات وفي الوضع الحـالي للاشباع) (٤٠٠) طن من الاورانيوم الطبيعي تقريباً لأول إيقاد ، و (١٧٠) طناً في السنة بعد الإيقاد الأول . فالطلب على الاورانيوم في فترة إنماء الكهرباء النووية قوي بنوع خاص نتيجة أهمية الإيقاد الأول .

ويمضي أكثر من خمس سنوات بين قرار البناء وبدء عمل المفاعل . أما مهلة تصنيع المحروقات الجاهزة انطلاقاً من الاورانيوم الطبيعي فهي سنتان تقريباً .

وتستطيع الصناعة المنجمية للاورانيوم تأمين التجهيزات في الوقت المناسب وبدون صعوبة، وذلك لإنتاج الاورانيوم من الاحتياطي المعروف سابقاً لتغطية الحاجات . وبالعكس من ذلك ، فإن تهيئة استغلال منجم في مناطق جديدة تستغرق أكثر من عشر سنوات : ان بناء المراكز النووية يبرمج على مدى سنوات وكذلك الحاجة إلى الاورانيوم الطبيعي . فلدى مستخرجي الاورانيوم إذن إمكانية توقيع عقود لأمد طويل تفوق العشر سنوات . ويستوجب إقرار القيام بحملات التنقيب الرهان على المستقبل وتحمّل مخاطر عدم استقرار العرض والطلب .

هذا ، ويخزّن الاورانيوم المشبع بسهولة وعلى أمد طويل . وهكذا تصبح لدى المنتجين في حال تخفيف الطلب إمكانيةُ تخزين الفائض . ولقد تأمّن التخزين خلال الستينات بواسطة الدول التي تحمّلت النفقات المالية ، فقاد هذا إلى إيجاد مخزون يتجاوز المئة ألف طن في العالم الغربي في أوائل السبعينات .

ولا يتعلق طلب الاورانيوم باستهلاك المركز فقط . بل أيضاً بشروط الاشباع . فسوق الاورانيوم الطبيعي ليس مستقلاً عن سعر وحدة العمل الانشطارية لأن أيّ انخفاض في الكثافة النظيرية للبقايا يعلل الحاجة للاورانيوم الطبيعي .

وتتعلق هذه الحاجة على المدى الطويل بإعادة استعمال الاورانيوم بعد الاشعاع أي بسوق إعادة المعالجة ومفاعلات التوريوم والبلوتونيوم .

٨ ـ تقدير الحاجات :

تكاثرت تقديرات الحاجات التي درست خلال السنوات الأخيرة اثر أزمة النفط في أواخر عام (١٩٧٣) تكاثراً بطيئاً بسبب بطء الحركة الاقتصادية ، ونجم التأخير عن دراسات التأثير على البيئة وخصوصاً في الولايات المتحدة . والافتراض المعطى في الجدول التالي ، الذي يبدو الأكثر واقعية حالياً نظراً للمعطيات الحاضرة ، يرتكز حتى عام (١٩٩٠) على استعمال مفاعل المياه العادية دون إعادة استعمال للمواد المشعة .

جدول رقم (١٢)

تقدير الحاجة السنوية للأورانيوم الطبيعي في بعض الدول الصناعية (بالأطنان)

الدولة	١٩٧٥	١٩٨٠	١٩٨٥	١٩٩٠
المانيا الغربية	١٠٠٠	٤٥٠٠	١٠٠٠٠	١٣٠٠٠
فرنسا	١٥٠٠	٥٠٠٠	١٠٠٠٠	١٣٠٠٠
مجموعة السوق الاوروبية المشتركة	٥٠٠٠	١٢٥٠٠	٣٤٠٠٠	٥٠٠٠٠
الولايات المتحدة	١٠٠٠٠	٢٦٠٠٠	٤٥٠٠٠	٧٥٠٠٠
اليابان	٢٠٠٠	٤٠٠٠	١٠٠٠٠	١٧٠٠٠
مجموع العالم الغربي	٢١٠٠٠	٥٥٠٠٠	١١٥٠٠٠	١٨٥٠٠٠

وحسب هذه التقديرات التي توصّل إليها خبراء مفوضية الطاقة الذرية الفرنسية ، سيتضاعف معدّل النمو في استعمال الاورانيوم كل خمس سنوات (أي تقريباً ١٥٪ بالسنة) ما بين سنة (١٩٧٠) وسنة (١٩٩٠) . وهذا المعدّل هو جدّ استثنائي إذا ما قوبل مع أغلبية المواد المعدنية الاخرى على مدى طويل :

(٥ ٪) بالسنة للنحاس خلال السنوات الأخيرة .

(٧ ٪) بالسنة للنفط .

ولكن ،

(١٧ ٪) بالسنة للالومنيوم في السنوات التي تلت الحرب .

وسيُستهلَك على هذه الوتيرة جميع الاحتياطي المؤمّن المضمون حالياً بأقلّ من (١٥) دولاراً بالليبرة . وتأمين مصادر جديدة معادلة لاخرى مكتشفة في الماضي يتطلّب دراسات طويلةً ومهلاً تفوق العشر سنوات في حال إنشاء مراكز جديدة أخْرى .

ويظهر أن الاحتياطي المؤمّن وكذلك المصادر الاضافية والمقدّرة بأقلّ من (٣٠) دولاراً بالليبرة ، لا يكاد يسمح بتلبية الطلب حتى أواخر هذا القرن ما لم تتطوّر الطاقة النووية وتتجاوز مفاعل المياه العادية ، وهذا لا يتحقق إلاّ لعشرين سنة إضافية تقريباً .

فهل يجب استنباط مفاعلات جديدة ؟ وأية مفاعلات ؟

إن إيجاد نماذج جديدة لمفاعل الحرارة المرتفعة ذي الاورانيوم الطبيعي والمياه الثقيلة ، يخفّف بشكل أساسي من حاجات مصانع الانشطار النظيرية والطلب على الاورانيوم ولكن ليس بطريقة جذرية بالطبــع .

والمولدات الخاصّة تبدو وحدها قابلة لحلّ مشكلة التموين العالمي بالاورانيوم . ويقدّر البعض أن استفاد البلوتونيوم والجهود لتطوير هذه المولّدات قد تؤدي إلى تخفيض استهلاك الاورانيوم إلى النصف في نهاية الثمانينات . أما التأخّر بإدخال المولّدات الخاصّة فقد يجرّ إلى عواقب وخيمة تؤثر على الحاجة العالمية للاورانيوم الطبيعي . وسيصل الاستهلاك الكامل للاورانيوم الطبيعي في العالم عام (٢٠٣٠) إلى (١٢) مليون طن إذا أدخلنا المولدات الخاصة عام (١٩٨٤) . وهذا الاستهلاك نفسه يرتفع إلى (١٤) أو (١٨) مليون طن إذا تمّ هذا الإدخال في عام (١٩٩٠) أو في عام (٢٠٠٠) .

إن الأسعار المحدّدة في اتفاقيات موقّعة بين (١٩٧٠) و (١٩٧٢) لكميات لا تسلّم إلاّ في عام (١٩٧٥) وما بعده ، كانت منخفضة

في بعض الحالات إلى ما دون (٥) دولارات بالليبرة : أسعار كهذه لم ترض المنتجين ، كما انها لا تسمح لهم بالتوظيفات الضرورية للبحث وللتجهيز العملي المنتظر .

أما في السنوات الأخيرة ، فقد كانت السوق سوقاً شرائية استغلّها المنتجون ، ولكن هذه الحالة غير العادية أدّت إلى إظهار خطر النقص للسنوات المقبلة . فالصناعة لم تتهيّأ بشكل عام لتلبية أيّ طلب أظهرته أزمة النفط الحديثة التي تهدّد بالاتساع .

لم نلاحظ فعلاً أسعاراً مرتفعة تجاوزت (٣٠) دولاراً لليبرة لبعض العقود التي أبرمت عام (١٩٧٥) . ويقدّر بعض الدراسات الاميركية بأن أسعار العقود الموقّعة في أواخر (١٩٧٣) و (١٩٧٥) قد تضاعفت خلال سنة في الولايات المتحدة ، وكذلك نستطيع الملاحظة ان الاتفاقات المبرمة سابقاً قبل عام (١٩٧٣) كانت هدف المفاوضة من جهة الباعة .

لقد تعدّى ارتفاع الأسعار كلفة الاستخراج ، وهذا ما يظهر تغييراً في اتجاه السوق نتيجة التطوّر الحاصل في سوق النفط : ان استقراراً نسبياً لأمد قصير ممكن لأن رفع الأسعار يقابَل باستثمار مناجم جديدة وبتحسين المردود . فمن الصعب إذن تخمين التطوّر الممكن لأسعار الاورانيوم، لا سيما وأن هذه السوق ، على غرار سوق المعادن الاخرى ، تبقى غير ثابتة بطبيعة الحال . فقد تطرأ انخفاضات وارتفاعات جديدة الآن وحتى عام (٢٠٠٠) حيث بلغت قيمة الاورانيوم المستخرَج حدّها الأقصى سنة (١٩٥٩) ، فاحتلّ هذا المعدن المرتبة الرابعة بين المعادن غير الحديدية بعد النحاس والالومنيوم والذهب . وتناقصت هذه القيمة تدريجياً وبلغت حدها الأدنى سنة (١٩٧٠) . ولقد بدأ الوضع بالتحسن ، ويقدّر البعض أن سنة (١٩٩٠) ستعيد إلى الاورانيوم مكانته التي كانت عليها عام (١٩٥٩) . فالجهود المبذولة في بعض الدول

الصناعية ، بقصد تنويع مصـــادر الاحتياطي ، هي سياسة حذرة من أجل التخزين . فانها تؤمّن وضعاً أفضل بكثير من وضعها في ميادين المواد الأوّلية الاخرى كالنفط ، لأن الادخار في تخزين الاورانيوم يؤمّن لها تغطية جزء كبير من حاجاتها انطلاقاً من أرضها بالذات .

إن الاورانيوم هو معدن منتشر في شتى أنحاء العالم ، وفي هذا ما يميّزه عن النفط . غير ان المقاطعات الكبرى الغنية به لم تكن أكثر عدداً من المقاطعات النفطية . فمن المؤكّد انه ستكتشف مناجم جديدة للاورانيوم ، لكن كثافة هذه المناجم ستكون ضعيفة أكثر فأكثر في بعض المناطق وخصوصاً في أميركا الشمالية . وستقود هذه المناجم رغم التطورات التقنية لرفع الأسعار العادية . فالاستعانة السريعة بالمولّدات الخاصّة تجنّب وحدها الوقوع في مشاكل ضخمة في عمليات تموين الاورانيوم في أوائل القرن الواحد والعشرين . وكل تقدم في تحسين هذه المولدات سيكون في نظر الدولة الصناعية عملاً مربحاً وتثميراً مضموناً .

المفاعل النووي والتلوث

التلوّث الإشعاعي

يؤكّد المسؤولون عن المراكز النووية في وصفهم للسدود المتتالية التي تفصل المحروقات في مفاعل بالمياه المضغوطة (.P.W.R) عن الخارج ، ان نفايات المراكز قليلة وضئيلة الاشعاعات . ويجد المنتقدون في هذا الكلام كثيراً من التفاؤل ، وذلك لأسباب عديدة ، منها :

كون السدّ الأول الذي يفترض أن يحتوي فعلياً ، وبشكل محكم ، على المادة الانشطارية غير عازل تماماً . ذلك ان غلاف السدّ يتألف من مزيج معدني يضعف ، رغماً عن جودة دراسته ، أمام الاشعاعات والحرارات المرتفعة والغاز المنتشر من المادة الانشطارية . ونتيجة لذلك ، نلاحظ باستمرار تشققات ظاهرة في غلاف المحروقات . وتعلن التقديرات الرسمية أن واحداً بالمائة من الغلافات الواقية يتشقّق في الحالة الطبيعية .

من ناحية أُخرى ، يؤدي دفق الجزئيات غير المشحونة كهربائياً والآتية من عنصر المحروق ، إلى ظهور مواد إشعاعية في معدن الغلاف الواقي . والحال ان سائل المدار الرئيسي المؤلّف من ماء ذي حرارة عالية (أكثر من ٣٠٠ درجة مئوية) ومن مواد كيميائية مختلفة ، هو سائلٌ أكّال يذيب ويتلف صفحة الغلاف . ونجد قسماً من المواد الفعّالة في سائل المدار الرئيسي مما يساهم في التلوّث الإشعاعي .

ولا يختلف التلوُّث إذا وضعنا كل ذلك داخل مكان مغلَّف بالاسمنت يدعى « السجن » .

ومن المهمّ في كافة الأحوال إجراء الدراسة الكيميائية على ماء الدورة الرئيسية . وتتمّ هذه الدراسة خارج « السجن » ، في أماكن تابعة للمفاعل ، وذلك بتمرير الماء على مصاف وأصماغ (يجب تغييرها دورياً) ، تسمح بتبادل الذرّات المشحونة . وتشكّل الحثالات الناتجة حوالي مائة متر مكعّب سنوياً لكلّ ألف ميغاوات ، أي ما يعادل أربعمائة برميل اسمنت لمفاعل (P.W.R.) تبقى كلها في مكانها .

ومن ناحية أخرى ، تؤدي تسربات الدورة الرئيسية (حوالي أربعة أطنان شهرياً) ومختلف مواد الصيانة ومصارف الحوض إلى معالجة خمسة آلاف إلى (١٥) ألف متر مكعّب سنوياً من المواد الاشعاعية المتدفّقة سائلةً كانت أم صلبة . وهذه المعالجة تترك مجالاً لانتشار الغازات الإشعاعية .

المتدفقات الغازيّة

علينا التمييز بين نوعين من الحثالات ، يطرح كل منهما مشكلة وقاية تختلف تماماً عن الاخرى .

وهذا النوع من الغاز يتميّز بفترات عيش قصيرة جداً (٤ ، ٧ ثوان للأزوت ١٦) أو قصيرة (٥ أيام للزينون ١٣٥) . وهذا يعني أن هذا النوع من الغاز يفقد نشاطه في بضعة أيام ، مما يفسّر بنشاطه الكبير في هذه الفترة القصيرة .

ويتعلّق الموضوع أساساً بأنواع الغاز الهامد ومشتقّاته التفكيكية :

- ازوت يبلغ وزنه الذرّي ١٣ أو ١٦ .
- غازات نادرة :

ارغون ٤١
كريبتون ٨٧
كريبتون ٨٥ في حالة الاستثارة
كريبتون ٨٣ في حالة الاستثارة
كريبتون ٨٨
كريبتون ٨٩
زينـــون ١٣٥
روبيديوم ٨٨ و ٨٩

ويدعو نشاط هذه الأنواع من الغاز إلى تخزينها فترة من الوقت داخل أحواض قبل إطلاقها في الجوّ . وشكّل وقت « التبريد » هذا موضوع نزاع بين الأخصّائيين أنفسهم . ففي فرنسا جعلوا فترة التبريد (٣٥) يوماً ، بينما اعتمد الالمان فترة أطول مرتين . ويقدّر نشاط هذه الحثالات بـ (٣٥) ألف وحدة إشعاعية (كوري) سنوياً لكلّ ألف ميغاوات .

ويشكّل وجود هذا النوع من الغاز خطراً شديداً على السكان القريبين . ففي حال وقوع حادث ما في معالجة هذه المواد ، تتفكّك للحال وتنتشر في الأماكن المحيطة بالمركز . وتبيّن دراسة انكليزية ان جرعة الاشعاعات التي يمتصّها الانسان على مستوى أعضائه التناسلية تكون (٥) آلاف مرة أكبر على مسافة (١٠) كلم منها على مسافة (١٠٠) كلم من المركز (حتى عند انتشار هذه المواد من مداخن يبلغ ارتفاعها ثلاثين متراً وأكثر) .

تنتشر ، نتيجة لسلسلة المعالجات ذاتها ، متدفقات سائلة في الجوار (في الأنهار أو البحار) .

المادة الأكثر انتشاراً هي التريتيوم :

إن مفاعلاً أميركي الصنع تبلغ طاقته (٦٠٠) ميغاوات ينشر سنوياً (١٢) ألف كوري من التريتيوم في المياه . وتتوقّع مصلحة الكهرباء الفرنسية أن ينشر المفاعل ألف كوري من الحثالات سنوياً لكل ألف ميغاوات . وتحتوي الحثالة النووية مواد أخرى مثل كوبالت ٦٠ ، وسترونتيوم ٩٠ ، ويود ١٣١ و ١٣٣ ، وسيزيوم ١٣٥ و ١٣٧ . ويبلغ النشاط الإجمالي لكل هذه المواد الأخيرة (١٠) كوري سنوياً .

وتشترك هذه المواد بخاصية وحودها كلها في الأطعمة التي نأكلها بكثافة ، وتزداد باردياد التلوُّث الكيميائي والحراري لمياه التبريد .

وفي النهاية ، فإذا كان صحيحاً أن حثالات المراكز النووية قليلة وضئيلة الاشعاع ، فلا يجوز بتاتاً اعتبار تأثيرها على الانسان غير ذي أهمّيـــة .

١ ـ مشاكل التخلص من مياه المفاعل :

من حيت النوعية ، لا يختلف التلوث الحراري الناتج عن زرع المراكز النووية على ضفاف الأنهار أو على ساحل البحر ، عن التلوّث الناتج عن المراكز العادية . لكنه من الضروري الانتباه إلى الفرق الواضح بين الاثنين من ناحية الكمية . وهذا يعود أساساً إلى ما يلي :

(أ) كون مردود المراكز النووية المختارة حالياً (P.W.R.) يصل إلى (٣٠٪) ، بينما يتراوح مردود المراكز العادية (فحم ،

وقود ، غاز) من (٤٠) إلى (٤٥٪) . وهكذا يخلّف المركز النووي (١٦٥٠) كيلو وحدة حرارية في المكثف مقابل كل كيلووات ـ ساعة ينتجه . بينما يخلّف المركز الحراري ألف كيلو وحدة حرارية في مصدر الماء البارد و (٢٥٠) كيلو وحدة حرارية في المدخنة (منفذ التهوية) . وهذا الفرق يشكّل زيادة (٦٥٪) في التلوُّث الحـــراري في مصدر الماء البارد .

(ب) إعادة تجميع المراكز النووية في منطقة واحـــدة بشكل مجموعات مؤلفة من مفاعلين إلى أربعة قوة كل منهـــا ألف ميغاوات ، بينما تبلغ طاقة معظم المراكز العادية معدل (٨٠٠) ميغاوات .

إن الأمر المجهول حتى الآن ، أو غير المقدّرة نتائجه ، هو كون التلوُّث الحراري ، إضافة إلى التلوّث الكيميائي الذي يزداد يوماً بعد يوم ، قد أصبح يطرح نفسه في صفحة المشاكل . لقد بينت مرحلة الجفاف في اوروبا ، في صيف (١٩٧٦) ، ان تلبيـــة جميع الطلبات غير ممكنة في وضع المراكز النووية الحالي . وهذا لا يعني أن عددها غير كاف ، لكن السبب يعـــود إلى الاضطرار لخفض قوة المراكز نتيجة قلة المّاء البارد .

وتبرز إذن ضرورةُ توزيع مصادر الطاقة ، ويظهر خاصة انه من العبث تحويل قلب المفاعل النووي إلى كهرباء ، إذا كان المقصود من ذلك تحويل هذه الكهرباء بعد نقلها إلى حرارة تستخدم في التدفئة المنزلية (المردود الإجمالي : حوالي ٢٥٪) .

إذن ، يثير التلوُّث الحراري مشاكل على مستوى البيئة فيزيائياً وبيولوجيـــاً .

٢ ـ الحاجـة إلى المـاء ونتائج المخلّفات النوويّة على البيئة الفيزيائية :

في حال استعمال مفاعل بدورة مفتوحة ، يجب تأمين (٥٠) متراً مكعباً في الثانية من المياه لكلّ ألف ميغاوات ، وذلك لكل زيادة في حرارة المكثّف تبلغ عشر درجات . ويتطلب هذا الاستعانةَ بأنهار كبيرة كنهر الراين أو بالتفكير في مياه البحر .

ويقدّر خبراء مصلحة الكهرباء الفرنسية أنّ تنفيذ كل مشاريع المراكز النووية الموضوعة لحوض نهر الرون في فرنسا سيحول نسبة (٥) إلى (٢٠٪) من منسوبه إلى بخار . وإذا صدقنا هذه التقديرات فستبلغ حرارة « الرون » النهائية عـام ألفين (٣٠) درجة مئوية في الصيف (تقدر التجهيزات بـ ٧٢٠٠ ميغاوات) .

وفي حال استعمال المفاعل بدورة مقفلة ، بالاضافة إلى الاهتمام بدورة التبريد ، يجب تأمين (٣،٥) أمتار مكعّبة من الماء في الثانية ، يتبخّر منها نصف متر مكعّب في الثانية في كل دورة (تعطى هذه الأرقام نسبة لتجمّع مفاعلات طاقتها ألف ميغاوات) . بينما ترتفع حرارة الباقي إلى (١٥) درجة في الثانية . ولا نستطيع تبعاً للتجربة الحالية تأكيد أن عملية تبخّر كهذه لن تؤثر على المناخ وعلى كمية الأمطار المحلية . وبالفعل ، تصلنا هـذه المعطيات والمعلومات في الواقع من الأماكن الصناعية التي تطلق في معظم الاحيـان حرارة جافة يختلف تأثيرها على المناخ اختـلافاً كبيراً ، بينما تطلق المراكز النووية حرارة ترافقها الرطوبة .

وهناك أيضاً تضارب مع حاجات الزراعة ؛ ففرنسا مثـلاً ، تحتاج إلى (٣٠٠) مليون متر مكعب من المياه سنوياً للري .

ويفترض ان تبخّر المراكز العادية والنووية عام (١٩٨٥) ما نسبته (٢٢٠) مليون متر مكعّب من المياه . ولم تحسب حتى الآن حاجة الزراعة للمياه في السنة المذكورة ، ولكن هذه الحاجة ستزداد حتماً عما هي عليه الآن .

ويبدو إذن ، أن مشكلة جديدة ستطرح قريباً وهي مشكلة تأمين الكميات الكافية من المياه .

نتائج المخلّفات النووية على المحيط الحي

١ ـ التأثيرات الآلية :

تظهر أهمية مياه البحر للمفاعلات في عمليات ضخّ وقذف من (٢٠٠) إلى (٢٥٠) متراً مكعّباً في الثانية (أي ما يعادل المنسوب المتوسط لنهر السين في باريس) من مجمّع يحوي أربعة مفاعلات طاقة كلّ منها ألف ميغاوات . وهذه العملية تتطلب أقنية ضخمة (ما يعادل قطر نفق لقطارين (تصل إلى أعماق البحر (١٥٠٠ متر تقريباً) بهدف الابتعاد عن المدّ والجزر . ولكن تأمين ضخّ المياه الباردة من البحر تصطدم بكوننا لا نعرف جيداً طبيعة التيارات والترسبات البحرية . وستنقلب أعماق البحار وتتغير الدورات البيولوجية ، وتتلف أجسام حية عديدة موجودة على مستوى مأخذ المياه ، ويزداد عددها كلما كان المفاعل أكبر (من هنا ، يأتي اسم « المفاعل قرش » المطلق على بعض المفاعلات الاميركية) .

٢ ـ التأثيرات الحرارية :

يتمّ اختلاط المياه الساخنة والمياه الباردة بصعوبة أكثر كلما كان الفارق الحراري أكبر بغضّ النظر عن اللزوجة والثقل النوعي ، مما يؤدي

إلى خلق تيارات ساخنة وهي ظاهرة خطرة خصوصاً في الأنهار .

وبشكل عام ، تبدو البلاعيط أكثر تأثراً بالتيارات من الأجسام العلقية . وبين هذه ، تكون الأجسام الأقل تكاثراً أضعف من غيرها .

وتقلل عملية تسخين المياه نسبة الاوكسيجين فيها ٪ وتزيد بالمقابل حاجة الأجسام الحية إليه : تبلغ هذه الحاجة (١٠٪) مقابل ارتفاع الحرارة بنسبة درجة مئوية واحدة (على مستوى حرارة ٢٠ درجة مئوية) .

إن ازدياد سرعة التفاعلات البيوكيميائية يبقى ذا نتائج سلبية ، لأننا ، بالرغم من استطاعتنا استبدال الأنواع المتلفة بفعل التيارات بأنواع أخرى ، وإمكانية تربية سريعة لأنواع جديدة (قريدس ، محار) ، ستطرح علينا مشاكل جديدة في حال أتلف غذاؤها . ان تغيرات مفاجئة في الحرارة تضر ، من ناحية أخرى ، بأنواع عديدة .

٣ — التأثيرات الكيميائية :

في سبيل الحؤول دون تكاثر بعض الأجسام كالصدف مثلاً ، يرتئي البعض استعمال الكلور ، لكن هذا الاستعمال قد يسبب حصول تلوث كيميائي ، إذ قد تبلغ نسبة الكلور المستعمل في اليوم الواحد ثلاثة أطنان .

ونستطيع أن نضيف إلى ذلك أن تسخين المياه سيزيد من كمية السموم في بعض الترسبات الكيميائية مثل حامض الكربونيك (Phenol) . ويظهر أن كل عمليات التداؤب (تفاعل وتوسع) بين أنواع التلوث الكيميائي والحراري يمكن أن تؤدي في النهاية إلى كوارث منتظرة .

وتتألف عملية إعادة معالجة المحروقات من عدة مراحل آلية وكيميائية ، تهدف إلى الفصل داخل المحروقات المشعة بين البلوتونيوم ،

الذي يمكن أن يفيد في غايات عسكرية (قنابل) أو مدنية (مولّدات جبّارة) ، والاورانيوم ، الذي يرسل إلى مصانع التكثيف ، وأخيراً المواد الناتجة عن الانشطار التي يجب تخزينها .

وتبدو إعادة المعالجة عملية دقيقة جداً على الصعيد الصناعي ، وقد استعملت في فرنسا من أجل محروقات مراكز « الفحم – غاز » . وهكذا ، فإن تطوير المراكز التي تستفيد من المياه الخفيفة (P.W.R.) سيزيد من ضخامة المشاكل ، لأننا سنواجه في هذه الحال محروقات مشعّـــةً من خمس إلى عشر مرات أكثر من محروقات مناجـــم « الفحم – غاز » .

إعادة معالجة المحروقات النووية

أما فيما يخصّ إعادة معالجة محروقات المفاعلات المفرطة الفعالية ، التي تبدو بنسبة خمس عشرة مرة أكثر إشعاعاً من محروقات مناجم « الفحم – غاز » ، فلم ينفّذ حتى الآن أي مشروع صناعي خاص بها .

وتطرح إعادة المعالجة بعض المشاكل على الصعيد الاجتماعي والسياسي ، وكذلك على صعيد علم البيئة :

أوّلاً – على الصعيد الاجتماعي والسياسي ، نستطيع أن ننوّه إلى أن الحكومة الفرنسية قد اختارت أن تنظر إلى عملية إعادة المعالجة كأيّ عملية صناعية أخرى قادرة أن تعطي فوائد معينة . وبالفعل ، تعتبر فرنسا حالياً البلد الوحيد في العالم الذي سيبدأ في إعادة معالجة محروقات المفاعل (P W.R.) .

وقد تخلّت الولايات المتحدة أخيراً عن هذه الفكرة ، خوفاً من عدم تمكنها من مراقبـــة انتشار البلوتونيوم ، وقرّرت بالتالي تخزين

المحروقات المشعّة كما هي . ومن المحتمل أن يشكّل التخزين على المدى الطويل نتائج سلبية وخطرة أكثر من إعادة المعالجة . ويؤدي الخوف من خطر المدى البعيد إلى مطالبة عالمية قوية بإعادة المعالجة ، وهذا ما قرّرت فرنسا فعلياً القيام به . ومن هنا الخطر الأول وهو كون الصناعة ذات الأخطار الكثيرة وذات التقنية الدقيقة ، والتي يجب أن تأتي السلامة فيها قبل أيّ اعتبار آخر ، تتبع طريق الربح .

إن الاهتمام بالمردود من وراء عملية إعادة المعالجة هو العامل المباشر المسؤول عن سوء الحال الحاضرة .

ثانياً — على صعيد البيئة ، تبدو إعادة المعالجة من بين النشاطات الأكثر تلويثاً في الدورة الصناعية للمحروق النووي . وتفرز هذه العملية بالفعل مخلّفات مشعّة هامة سائلة وغازية .

(أ) يطلق مجمل الكريبتون ٨٥ (تبلغ دورته عشر سنوات) من منافذ الهواء بنسبة (٣٨٠) ألف كوري لكل (٣٣) طناً أُعيدت معالجتها . وهذه الأطنان تشكّل كمية المحروقات المشعّة سنوياً في مفاعل (P.W.R.) الذي تبلغ قوّته ألف ميغاوات . ويقدّر إذن ، اننا سنحصل حتى عام (١٩٨٠) على (٧) ملايين كوري من الكريبتون ٨٥ . وإن نظرنا إلى دورة حياة الكريبتون الطويلة ، نرى انه من الممكن أن يؤدي التكدُّس إلى إعادة تكثيف على الصعيد الصناعي (مصانع الهواء السائل) ، وهو أمر شديد الضرر بصحّة عمال المصانع (مصانع مصابيح الكريبتون).

وبالمقابل ، لن يشكّل هذا الغاز بالذات مشاكل من إشعاعه الخارجي إذا كان ممتزجاً جيداً بالهواء . ولكن

المشكلة تكمن في حال إشعاعه الداخلي ، إذ لا نعرف حتى الآن بالتحديد نسبة تعلُّق هذا الغاز بالأجسام الحية .

(ب) يطلق مجمل التريتيوم في مياه البحر بنسبة (٦٠٠) ألف كوري سنوياً (تقدير لعام ١٩٨٠) . ويتمّ الرهان هنا على إمكانية ذوَبان التريتيوم في الماء وظهوره بالتالي بشكل مياه تحوي التريتيوم . وهنا أيضاً يتمّ رهان آخر ، إذ من المعروف أن بإمكان التريتيوم الالتصاق بالجزئيات العضوية والوصول بالنتيجة إلى الإنسان عن طريق التكثفات في مختلف الحلقات الغذائية .

(ج) اليود (١٣١)، هو مبدئياً شديد الخطورة وغير قابل للاندثار أو التحوُّل .

(د) من بين المتدفقات السائلة عدد يبثّ إشعاعات ( ) مثل السيزيوم (١٣٧) ، والسترونيتوم (٩٠)، والريتانيوم (١٠٦) الذي يبدو كثير الضرر .

إن الريتانيوم هو المسؤول الأول عن الزيادة المذهلة للإشعاعات داخـــل بعض الطحالب وبعض الحيوانات البحرية ، كما يبدو ذلك في إحصاءات مركز « الهاغ » . وهذا الريتانيوم(١٠٦) هو أيضاً المسؤول عن العدوى التي ظهرت سنة (١٩٧٣) في سكان الساحل في بلاد الغال بعدما أفرغ مصنع « وندسكال » الانكليزي بقاياه في مياههم : لقد تجاوزت المنطقة الملوّثة حينذاك أكثر من (١٠٠) كلم جنوبي وندسكال .

(هـ) يتمّ دائماً في سياق المفاعلات الكيميائيـــة ، تسرُّب البلوتونيوم . وبهذا الخصوص ، يعمل مصنع « الهاغ » على إعادة معالجة كمية من البلوتونيوم تساوي (١٪) من وزن

المحروق المشعّ . وهذا يعني ، انه في حوالي سنة (١٩٨٠)، سيتمّ استخراج (٨) أطنان من البلوتونيوم سنوياً في مصنع « الهاغ » . ومن المسلّم به من قبل مسؤولي العمليات في مفوضية الطاقة الذرية الفرنسية أن هناك نسبة واحد مقابل كل عشرة آلاف من البلوتونيوم الذي يتسرّب إلى البيئة المحيطة . وهذا الرقم سيمثل ابتداء من سنة (١٩٨٠) كميةً تعادل (٨٠٠) غرام من البلوتونيوم سنوياً لمصنع « الهاغ » وحده . وهذه الكمية هائلة ، لأننا لو حسبناها بالكوري ، ستتعدى بكثير كمية الأشعة المبثوثة (٩٠ كورياً) المسموح بها حالياً بموجب قرار إداري . وسنجد كمية كبيرة من هذا البلوتونيوم المتسرب في مياه البحر .

(و) إذا نظرنا إلى المدى البعيد ، تظهر مشكلة الحثالات المرتفعة النشاط (أي الكثيرة الاشعاع) . وفي آخر سياق التفاعلات تبدو منتجات عملية الانشطار كمحلولات مائية . وتخزّن هذه المحلولات حالياً في أحواض ذات جدارين من مادة اينوكس التي لا تصدأ ، وهي في اختلاج دائم يجعلها قادرة على إطلاق (٢٠٠) كيلو وات في المتر المكعب بعد عشر سنوات من تخزينها . وتحتوي هذه المحلولات على مجمل « ما وراء اليورانيوم » الذي يملك عدداً ذرّياً أكبر من عدد اليورانيوم الذرّي ، الذي يزن أكثر من البلوتونيوم ، ومن بينها الاميركيوم والكوريوم وكذلك قرابة (٥, ٠٪) من البلوتونيوم . ويجب أن تحفظ هذه المحلولات المائية بشكل محكم لمدة تزيد على عشرات ألوف السنين . وبالفعل ، سيصل الاشعاع الناتج عن مواد الانشطار إلى نسبة مقبولة بعد حوالي (٨٠٠) سنة . إلاّ أن الإشعاع

الناتج عن « ما وراء اليورانيوم » ثابت على مدار ألوف السنين . فالبعض ينظر إلى إعادة معالجة هذه المحلولات بهدف فصل « ما وراء اليورانيوم » بشكل أفضل . ومن غير الممكن تنفيذ هذه الفكرة صناعياً في الوقت الحالي . كما اننا نضيف إلى ذلك أن ما من أحد يستطيع التأكيد بأن تتابع التفاعلات الكيميائية الضرورية لتنفيذ الهدف لن ينتج كميات هائلة من الرواسب والمحلّلات ... الكثيرة النشاط والتي يجب تخزينها من جديد . ولم ترد حتى الآن إمكانية الفصل هذه في السياسات الذرّية الرسمية الحالية . وبالمقابل ، يتمّ التوجه إلى إعادة تكثيف هذه المحلولات (قرابة ٥ آلاف كوري / ليتر) ومن ثم تزجيجها . وستصنّف هذه الزجاجات المصنوعة ، في اطار المؤلفات الجيولوجية الثابتة . ولكن ، ما من أحد يستطيع حالياً الجزم في ثبوتية هذه الزجاجات خلال القرون القادمة ، وذلك بفعل العيون الناشئة داخل الزجاج بسبب الاشعاعات ، ومن جرّاء انتقال المواد المشعّة من الداخل إلى الخارج ، وبسبب « اللعق » المحتمَل من المياه الجارية . أما فيما يخصّ المؤلفات الثابتة جيولوجياً ، والحصانة من المياه ، فإننا في صدد التنقيب عن مناجم ملح غير ملوّثة .

تخزين النفايات النووية

ينتج المفاعل النووي ، ككل مركز حراري ، شيئين أساسيين : أولاً ، طاقة حرارية تحوّل إلى طاقة كهربائية . وثانياً ، « الرماد » . وفي هذه الحال ، يتكوّن الرماد من قضبان من اوكسيد الاورانيوم الذي

تكون المادة الانشطارية فيه (أي الاورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩) بنسبة ضعيفة ، مما يجعلها غير صالحة كوقود نووي . وهذه القضبان ، المسمّاة « محروقات مشعّة » هي كثيرة الاشعاع حقاً ، فهي تحتوي أساساً على ثلاثة أنواع من العناصر المشعّة : المادة الانشطارية الناتجة عن تكسر نواة الاورانيوم (٢٣٥)، والتريتيوم الناتج عن انشطار ذي طبيعة خاصّة ، وأخيراً ، يتكوّن النوع الثالث من المواد التقيلة التي تحتوي على عدد أكبر من الذرّات النووية نتيجةً لتحولات الاورانيوم (٢٣٨) المتلاحقة بفعل كسبه الكهيربات المحايدة داخل المفاعل. وتتميّز الأجسام الناتجة عن الانشطار بدورات حياة قصيرة (مثلاً ٣٠ سنة للسيزيوم ١٣٧ أو السترونيوم ٩٠) ، وببثّها للجزئيات (β) ، بينما تتميّز المواد الثقيلة (ما وراء الاورانيوم) وأخصّها البلوتونيوم (٢٣٩) ، ببثّها للجزيئات (α) وبدورة حياة طويلة (٢٤ ألف سنة للبلوتونيوم ٢٣٩) ، وتتميّز أيضاً بنوع من السموم المشابهة لسموم البلوتونيوم . وإضافة إلى هذه العناصر المشعّة ، تحتوي المحروقات المشعّة ، بالطبع على الاورانيوم (واحد بالمائة من الاورانيوم ٢٣٥) .

ولكنه من الضروري أن نتذكّر أن المكان الوحيد الذي خصص في الولايات المتحدة لهذا الغرض (كنساس) قد بدا قابلاً لامتصاص المياه . وبالإضافة إلى ذلك ، يعرف المسؤولون عن هذه الأمور ، أن لا وجود حالياً لحلّ مؤكّد يبقى صالحاً للسنين العديدة القادمة . ونستطيع فقط أن نأمل في إيجاد حلّ نهائي لهذه الحثالات في الخمسين أو المائة سنة القادمة (مثلاً ، إمكانية تحويل ما وراء اليورانيوم إلى مفاعلات ذات كهيربات محايدة أو قذفها في الفضاء ..) .

ولكن ، هل من الممكن فعلياً توريط الأجيال القادمة ، على أمل انها ستجد الحل ؟

من المرجّح ، انه في الخمسين أو المائة سنة القادمة ، ستتوجّه إمكانيات البحث في ميادين جديدة كلياً ، بعد التخــلي عن الطاقة النووية ، وستؤجّل هذه الأجيال إلى ما بعد إيجاد حلول نهائية لها .

لقد بدا لنا مما قدّمنا ، كم هي عديدة المخاطر التي نتعرّض لها في الصناعة النووية حتى في دورة عملها العادي . ويحسب ملتزمو الطاقة النووية عن قصد هذه المخاطر بهدف الموازنة بين مردود الطاقة وبين الخطر اليومي الناتج عن استعمالها أو التحضير لها . وهكذا انتقص من قيمة هذه المخاطر ولكن بقي الاعتراف بها . ومن ناحيةٍ أُخرى ، يرى ملتزمو الطاقة ان الاهتمام الكبير باتّقاء المخاطر يخفّف من إمكانية حصول الحادث ، ولكن ، سننطر فيما بعد ، في مدى صوابية هذا الاعتقـــاد .

ونهتمّ فيما يلي بعرض الحوادث الممكن أن تقع في المراكز النووية وما لذلك من نتائج خطيرة . فالخطر ينتج من سلسلة العمليات التي تتعرّض لها المحروقات . وتبعاً لما تقدّم يعتقد البعض أن الحوادث المنتظرة في مصانع إعادة معالجة المحروقات ستكون رهيبة وفي مستوى الكوارث .

١ ــ حادث في مفاعل (P.W R.) :

أ ــ وصف الحادث : تستعمل المياه في المفاعل (P.W.R.) كسائل حامل للحرارة ومعدّل لها ، أي بمعنى آخر ، كمخفّف لسرعة الجزيئات غير المشحونة كهربائياً (أو الكهيربات المحايدة) بحيث تصبح أكثر فعالية في عملية الانشطار النووي . ويولّد النقص في المياه إذن ، نقصاً في تعديل الحرارة يؤدي (لحسن الحظ) إلى إيقاف سياق التفاعل . من هنا ، لا تتخذ التسربات طابع الكوارث . وبالرغم من ذلك ، تبقى مواد الانشطار موادّ مشعّة تنتج ، بعد إيقاف سياق التفاعل طاقة كبيرة تتبدّد حرارةً (بكمية مهمّة تعادل في حال الإيقاف ٧٪

من الطاقة المقدَّرة) . وتستطيع طاقة حرارية كهذه تحويل طن من المياه إلى بخار في ثانية واحدة .

وتبدو مشكلة نقصان المياه إذن (بالرغم من أهميتها في التعديل الآلي للحرارة) مشكلةً محدودة . فالمفاعل (.P.W.R) متلاحم الصناعة : تعادل قوّته في وحدة الحجم مائة مرة أكثر من قوة مراكز « الفحم — غاز » (١٠٠ كيلووات في كل ليتر مقابل كيلووات واحد في كل ليتر). وتصف لنا لجنة الطاقة الذرّية الأميركية ، في تقرير لها ، نوع الحادث التي يمكن أن تنتج عن نقصان المياه : « لو لم تتبدّد الحرارة لارتفعت درجة حرارة الغلاف الواقي إلى حدّ الذوّبان ، مما يؤدي إلى تبدد مواد الانشطار في الدورة الرئيسية إلى الأماكن المجاورة في المفاعل وربما إلى خارج المصنع » .

ويقدّر المنشئون انه مهما عظمت الحوادث فلن تتخطى ذوّبان قلب المفاعل ، وذلك لسببين هامين :

— استبعاد إمكانيّة تصدُّع الحوض .
— الاعتماد على حسن سير جهاز التبريد المساعد .

ب — تصدُّع شبكة قنوات : من المرجّح أن يكون سبب حوادث نقصان المياه الأساسي ، هو تصدُّع شبكة قنوات رئيسية . ولا يشكّل هذا الأمر ، برأي المنشئين ، خطراً شديداً نظراً إلى نتائجه المحدودة على البيئة . ويرتكز المنشئون في رؤيتهم هذه على خلاصة تقريرٍ نُشر سنة (١٩٧٥) يقدّر احتمال وقوع حادث من هذه السوية بـ (٥ × ١٠ —٥) للمفاعل في السنة الواحدة . وتصل نسبة الاحتمال هذه إلى (٥) حوادث في القرن مقابل عمل ألف مفاعل .

وتبدو هذه الحسابات متفائلة ، إذ أنها تفترض صحة عمل جهاز التبريد المساعد . وإضافة إلى ذلك ، جرى في الولايات المتحدة نقد عنيف للطريقة المتبعة في التقرير المشار إليه .

وقد استعملت وكالة الفضاء الاميركية هذه الطريقة لحساب احتمال الحوادث في الرحلات الفضائية ولم تظهر أبداً صحتها ، فقد قدّر ، (باتباع هذه الطريقة) إمكانية اشتعال محرّك الطابق الرابع في « ابولو » في أوائل الستينات ، بـ (٠،٩٩٩٩) ، أي بمعدل عطل واحد لكل (١٠٠٠٠) إرسال . بينما سجل في الواقع ، وبعد آلاف التجارب ، معدّل (٤) أعطال لكل مائة إرسال ، أي (٤٠٠) عطل أكثر مما كان متوقعاً . وتظهر الطريقة المتبعة إذن كثيرة التفاؤل فيما يخصّ التقدير المطلق لامكانيات حصول الحوادث .

ج – **عمل جهاز التبريد المساعد** : من مهمّة جهاز التبريد المساعد ، أن يحول دون ذوبان وقود المفاعل ، ودون تغيّر تركيبه في حال تعطّل دورة التبريد الرئيسية . ويمكن أن يتركّز إتمام هذه المهمة ، مثلاً ، في ضخّ الماء بين الحوض والحاجز الحراري .

وتبدو دراسة المهمّة وهميةً إن أتممناها نظرياً ، فالعمليات التي تدور لتحقيقها كثيرة التعقيد . ففي أميركا ، بدأ تحقيق دراسة اختبارية ، لكن الجهاز المساعد لم يعمل في هذه الاختبارات . ويجري الآن تحقيق اختبارات جديدة على مفاعل اختباري طاقته (١٧) ميغاوات ، أي (٦٠) مرة أقلّ من طاقة المفاعلات المنشأة حالياً .

د – **تصدّع الحوض** : إذا كان الفرنسيون قد تناسوا إمكانية تصدّع الحوض ، فالحالة ليست كذلك عند الباقين ، فبريطانيا مثلاً ، قد تخلّت عن المفاعل (.P W.R) بعد الشهادة التي عرضها عالِم

المعادن المعروف عالمياً «آلان كوترال» أمام هيئــة العلم والتقنية في بريطانيــا .

لقد بدت الشكوك كبيرة جداً أمام مجلس النواب البريطاني ، مما جعله يرفض الأخطار الممكنة . ومن المهم الإشارة ، دون الدخول في تفاصيل البراهين المعروضة ، إلى أن من بديهات بناء الحوض أن يصمد أمام الضغط الكبير (١٥٠ كيلوغراماً في السنتيمتر المربع) . وتتطلب صناعة الحوض إذن استعمال التقنيات الأكثر كلفة في هذا المجال . ولا نعرف كيف يقدّر بدقة عامل السلامة ، إضافة إلى كوننا نجهل كم تستطيع المعادن المستعمَلة أن تقاوم دفق الكهيربات المحايدة . وأخيراً ، ان عملية التسرُّب ، التي تمّ عادة قبل التصدُّع فاسحة مجال الانذار بالتصدعات الرهيبة التي ستحصل ، لا تمّ هنا .

ويمكن للتصدع في النتيجة أن يواجهنا فجأة ودون سابق إنذار ، وبذلك تكون سلامة الأحواض رهناً بمراقبة نوعية الصناعات والمراقبات المستمرة للتشققــات بوسيلة الصوت الأسرع (Ultra-Sons) . وإن أردنا وصف تصدُّع حوض المفاعل (.P.W.R) استطعنا تشبيهه بالانفجــار .

هـ ـ تأثيرات الحوادث الناتجة عن نقصان المياه المبرّدة : إن تقييم أهمية تأثيرات الحادث في المفاعل (.P.W.R) يختلف تماماً بين مؤيدي المفاعل ومعارضيه . والنتيجة الأكثر احتمالاً ، تبعاً للتقرير المشار إليه أعلاه ، ستكون مائة ألف دولار من الخسارة المادية ، دون حساب الجرحى أو الضحايا . ولكن تقريراً آخر يقدّر وقوع (٣٠) ألف ضحية في الحال و (٩٠) ألف ضحية حالة مرضية خطيرة .

هذا البون الشاسع في التقديرات يعود إلى الاعتبارات المختلفة المتعلقة بالتالي :

– أكبر طاقة ممكنة أخذت في الاعتبار .
– مدى فعاليّة أجهزة السلامة .
– وضع المركز نسبة إلى أقرب تجمعات سكنية .
– حالة التيّارات الهوائية السائدة .
– سرعة التسرّب بعد الإنذار .

إن عدم إمكانية تحديد خطورة الحوادث الممكنة أمر يدعو بالفعل إلى القلق .

ويقدّم التقرير الأول تحليلاً مفصّلاً لتأثيرات الحوادث الناتجة عن نقصان المياه مرتكزاً في ذلك على خط بياني ورد في مقدمة التقرير . ويظهر هذا الخط أن خطر حادث ناتج عن مائة مفاعل نووي يساوي خطر حادث يولّده سقوط النيازك (لكن في أغلب الأحيان ، يتناسى متعهّدو الطاقة النووية كل الأخطار آخذين بالاعتبار فقط التأثيرات الآنية للأحداث) . وبغضّ النظر عن كون هذا الرقم قابلاً للنقاش ، يجب أن لا يغيب عن بالنا الاهتمام بالضحايا التي تلاقي حتفها بعد (٤٠) سنة من وقوع الحادث .

٢ – حوادث في المفاعل المفرط الفعالية :

إضافة إلى كون المخاطر الناتجة عن تبنّي المفاعل الأميركي (.P.W.R) قد أصبحت أكثر عدداً وخطورة من المخاطر الناتجة عن اتباع تقنية « الغاز – فحم » الفرنسية ، يبدو ان استعمال المفاعل المفرط الفعالية سيزيد من شأن المخاطر لسببين رئيسيين :

ويمكن تلخيص السبب الأول بالطريقة التالية : في استعمالنا للمولدات الفائقة ، نكون قد مررنا من مرحلة « كل شيء كهربائي » إلى مرحلة « كل شيء نووي » و « كل شيء بلوتونيومي » . ويرتكز هذا

المفاعل ، بالفعل ، على إنتاج البلوتونيوم (٢٣٩) وعلى استعماله بشكل مكثّف . وهذا البلوتونيوم ما هو إلاّ مادة انشطارية ناتجة عن الاورانيوم (٢٣٨) المشبع ، لكنه مادة كثيرة الخطورة : إن جرعة منه تتراوح بين ميكروغرام وميلليغرام واحد قادرة ، بفعل سمّه الاشعاعي ، على خلق سرطان قاتل في الرئة . ويؤدي انتشار البلوتونيوم المفاجيء وغير المقصود إذن ، عند نقل المحروقات أو إعادة معالجتها أو نتيجة لعطل في المراكز ، إلى تأثيرات مخيفة .

ويكمن السبب الثاني ، في ان المولدات الجبارة قادرة (خلافاً للمراكز النووية العادية ، وخلافاً لكلّ ما أُعلن رسمياً) ، على الانفجار نتيجة حادث معين ، كما تنفجر القنبلة الذرية .

ويحمل الانفجار الذرّي الذي يمكن أن يتعرّض له مولّد جبار اسم « الرحلة النووية » . ومن الممكن أن يتمّ عدد متلاحق من الرحلات النووية . ويطرح إزاء ذلك السؤال عن قابلية الأماكن المحيطة بالمفاعل على ضبط هذه الانفجارات . ولقد حاول الاخصائيون تقدير قوة الانفجارات التي يمكن أن تحصل فبيّنت الدراسات القائمة حول المفاعل (Super Phénix) المنوي إنشاؤه في فرنسا على بعد (٤٤) كم من مدينة ليون ، ان المتفجرات العادية الناتجة عن « الرحلة النووية » ستتراوح بين بضعة أطنان وآلاف الأطنان . وإذا حسبنا الطاقة الاجمالية المنتشرة فستتراوح الطاقة الآلية الناتجة عن ذلك بين مئات الكيلوغرامات وبعض الأطنان .

ويرى المتفائلون هذه الأرقام في حدود ما يمكن أن تتحمله الأماكن المحيطة بالمفاعل . وإضافة إلى ذلك ، تمّت هذه الحسابات بطرق تعتمد الكثير من الاختزال وجرت على نماذج مختصرة فالمفاعل (Super Phénix) يحتوي على قرابة (٣٥) طناً من المحروقات

النووية بينها (٥) أطنان من البلوتونيوم ، بينما لم تتعرّض اختبارات « الرحلات النووية » إلى أكثر من بضعة كيلوغرامات من المادة الانشطارية .

ومن البديهي انه لو اعتبرنا سُمّية البلوتونيوم الاشعاعية ، لوضح لنا كم هي خطيرة كمية (٥) أطنان من البلوتونيوم إن هي انتشرت أو انطلقت في الهواء نتيجة لرحلة نووية .

وإضافة إلى مخاطر الانفجار النووي الناتجة عن وجود البلوتونيوم يجب الإشارة إلى مخاوف أكثر خطراً تسببها أطنان السوديوم السائل (قرابة ٥ آلاف طن في المفاعل Super Phénix) الضرورية لتبديد الحرارة الناتجة عن قلب المفاعل . وتأتي خطورة السوديوم من كونه معدناً شديد التفاعل ، فهو يحترق حال تعرّضه للهواء وينفجر عندما يلتقي بالماء . وفي الوضع الحالي للتقنيات ، من غير الممكن التصدي وإيقاف الحريق إن نتج عن كمية تزيد عن طن واحد من السوديوم . وقد جرت سابقاً حوادث تدعم ما نحن بصدده ، ففي عام (١٩٧٤) مثلاً ، شبّ حريق سوديوم في المولّد الجبّار (Shevtchenko) في الاتحاد السوفياتي أدى إلى تعطيل المولد .

وتحاول الدول عادة اعتماد مبدأ الحذر . وهكذا ، تخلّت الولايات المتحدة — نتيجة للحوادث التي تعرّضت لها المولدات (E.R.B.I.) و (Enrico Fermi) عن فكرة إنشاء المولدات الجبّارة ، بينما تنشىء بريطانيا مولّداتها في المنطقة الوحيدة شبه الصحراوية التي تملكها ، وذلك في أقاصي شمال اسكتلندا . أما الاتحاد السوفياتي فإنه يتريّث في الانتقال المباشر من (٣٥٠) ميغاوات إلى أكثر من ألف ميغاوات ، لذا ينشىء الآن مفاعلاً طاقته (٦٠٠) ميغاوات .

٣ ـ نقل المواد الاشعاعية :

تتأمّن عملية النقل بواسطة سكة الحـــديد والطرقات العادية . ويستعمل مفاعل (P.W R.) ، الذي تبلغ طاقته ألف ميغاوات ، (٣٠) طناً من المحروقات في السنة . وتشتمل المواد المنقولة حالياً على الاورانيوم المشبع إلى نسبة (٣٪) . وتظهر المشاكل خاصة عند التفريغ فالمجموع يحتوي عند ذلك على (٢٩) طناً من البلوتونيوم ، وعلى طن واحد من المواد الانشطارية ، و (٣٠٠) كلغ من البلوتونيوم ، و (٩) أطنان من الغلافات الناشرة للأشعة .

هذا المحروق المشعّ يصبح شديد الاشعاع عند خروجه من المفاعل ، لذا علينا الانتظار أشهراً قبل أن نستطيع نقله . ويرسل هذا المحروق بعد ذلك إلى « الهاغ » الذي يتلقى من طرفه شحونات قادمة من الخارج .

وتبدو القوانين المتخذة في عمليات النقل كاملةً ، مجهّزة وصارمة . فعلى كل تعبئة أن تخضع مسبقاً للاختبار وان يتمّ التأكّد أساساً من سلامتها ، وان تراعي بشدة الشروط المفروضة قانونياً . وإن كان مستعمل التعبئة شركة نقل خاصّة مثلاً ، فهي تتحمّل مسؤولية ضخمة ، إذ عليها أن تكفل تطابق التعبئة مع الوصف المعطى عنها ، وان يكون شحنها سليماً ، فتتأكد بالتالي من صحة كل ما لا يمكن مراقبته عند عملية النقل .

لكن ، يأتي السؤال : هل سيراعى تطبيق هـــذه القوانين ؟ وفي حال طُبِّقَتْ ، هل ستكفي الإجراءات المتخَذة في النقل للحؤول دون حصول الإشعاعات ؟

المَـــلاحـــق

الملحق الأول

مقتطفات من رسالة نيكسون إلى الكونغرس الأميركي حول الطـاقة ، بتاريخ (١٩٧٣/٤/١/١٨)*

(*) احتار المقتطفات لوي لويرو وترحمها إحسان سركيس

يعرض نيكسون المسألة بالعبارات التالية :

« بقدر ما تصبح الولايات المتحدة أكثر ازدهاراً وأوسع تصنيعاً ، يمضي الطلب على الطاقة صعداً . واليوم ، وبعدد من السكان يمثّل (٦٪) من سكان العالم نستهلك ، تقريباً ، ثلث الطاقة المستخدَمة في العالم . لقد تزايدت احتياجاتنا إلى الطاقة بقدر من السرعة تجاوزت معه ، اليوم ، المقادير الموجودة قيد تصرفنا ، [...] وفي الأعوام المقبلة ، علينا أن نواجه إمكان حدوث نقص عارض في الطاقة ، وكذلك شيئاً من زيادة الأسعار [...] . وإذا قيض للاتجاه الحالي أن يمضي ، دون عوائق ، فقد يتعين علينا أن نواجه أزمة حقيقية في الطاقة » .

وبعد أن أشار إلى ندرة الموارد من الغاز الطبيعي ، والتلوث الناشىء عن استهلاك الفحم وعدم كفاية الإنتاج المحلي من النفط ، أضاف :

« إذا أردنا الإبقاء على متانة اقتصادنا والسلامة الصحية (في بيئتنا) والاطمئنان إلى مواردنا الطاقوية ، فمن الجوهري أن نقيم التوازن المطلوب بين مختلف الأوليات » .

ومن ثمّ السياسة المقترَحة : زيادة العرض الوطني قدر الإمكان وكبح جماح زيادة الطلب ، وبالتالي ضبط الأسعار وإحكام القوانين .

١ ــ الغاز الطبيعي :

إنه « وقود مثالي في أميركا » لأنه يحترق بنظافة ، ولكننا نفتقر إليـــه :

« طوال سنوات عشر استبقي سعر الغاز الطبيعي المسلّم لخطوط النقل [...] في مستوى متدن ، بشكل اصطناعي . وكانت النتيجة أن حرض الطلب بصورة اصطناعية ، وتدهور الاستكشاف والتطوير المطلوبان، لتقديم إمدادات جديدة قادرة على تلبية الطلب المتزايد . وقد أسهم هذا الشكل من الإجراءات الحكومية ، بشدة ، في النقص الذي عرفناه ، وبقدر كبير ، في ندرة الغـــاز الطبيعي الذي نحاول تداركه حالياً » .

الحل المقترَح : إلغاء لوائح أسعار البيع عند المنبع ، ورفـــع سقوف أسعار المبيع إلى المستهلك النهائي ، بغية حمل الطلب عـــلى الاعتـــدال ، وتحريض البحث والوصول إلى توازن مع أشكال الطاقة الاخرى ، مع الأخذ في الحسبان إكراهات البيئة .

٢ ــ الجرف القاري الخارجي :

إنه يضم في باطنه أكثر من نصف الموارد الوطنية من الغاز والنفط ، ولكنه لم يستكشف ، بعد ، إلاّ بصورة جزئية : « وفي فترة نجد فيها أنفسنا ملزمين بتأمين قرابة (٣٠٪) من نفطنا من الخارج » ، يترتب علينا أن نكثّف الاستكشافات ــ وبخاصّة في خليج المكسيك وساحل كاليفورنيا ــ وتظل ، مع ذلك ، امتيازات الاستثمار في مضيق سانتا بربارا معلقة لحماية البيئة .

٣ ــ خط النقل في ألاسكا :

ويقف نيكسون ضد « التضييقات القانونية البالية » التي تؤخّر هذا المشروع .

٤ — زيت الصخور الجيرية :

إنّ برنامجاً لإعطاء امتيازات التعدين هو قيد الدرس . والاحتياطيات المحتملة تقدَّر بمئات المليارات من البراميل ، ولكن اثر مثل هذه الاستثمارات على البيئة لم يحلّ بعد .

٥ — الطاقة الحرارية الجوفية :

« يمكن لاستخدام الطاقة الحرارية الجوفية أن يكون على جانب كبير من الأهمية بالنسبة للكثير من مناطقنا الغربية ، وان تلبيتها لقسم من طلب الطاقة في هذه المنطقة تمكّن من توفير مصادر أُخرى من الطاقة كانت ستستخدم لولاها . وعلى سبيل المثال ، فإن الطاقة الحرارية الجوفية التي تستخرَج من الينابيع الحارة في كاليفورنيا تقدم حالياً قرابة ثلث كهرباء سان فرانسيسكو » .

ويدعو نيكسون لتكثيف جهود البحث في هذا المضمار ، ولكنه يحجم ، كما هو الأمر بالنسبة إلى النقطة السابقة ، عن الإشارة إلى أن الفترة اللازمة للاستثمار ، على نطاق واسع ، تستدعي عشرات السنين .

٦ — الفحـــم :

« يوجد أكثر من نصف الاحتياطيات العالمية الإجمالية من الفحم داخل حدود الولايات المتحدة » ، ولكن إنتاجها قد حدد حتى اليوم « لا بسبب منافسة الغاز الطبيعي — التي ابتعثتهـــا اصطناعياً القوانين الاتحادية المتعلّقة بالأسعار — وإنما أيضاً بسبب الاهتمامات الجديدة المتعلقة بالبيئة ، والتي برزت إلى الوجود ، وبسبب القوانين المتعلقة بالشرائط الصحية والسلامة في المناجم » .

ويطالب نيكسون بأن « تعطى الأولوية القومية العليـــا لتطوير واستثمار واستخدام » الموارد الفحمية الوطنية ، الأمر الذي من شأنه أن يخفّف ، بالمقابل ، من احتياجات الاستيراد : ان تطبيقاً دقيقاً وسريعاً

لقانون نقاء الهواء يزيد « ١,٦ مليون برميل يومياً من الطلب على النفط [...] ويحمل ميزان مدفوعاتنا عبئاً يبلغ (١,٥) مليار دولار أو أكثر » .

« وابتغاء زيادة المحرضات على استعمال التكنولوجيا الحديثة ، في مجال البيئــة ، فانني أطلب بإلحاح إلى لجان الخدمات العامة في الولايات أن تعمل بشكل يمكن المنشآت المكلّفة بهذه الخدمات أن تسترد ، بسرعة وعدالة ، كلفة تجهيزات الرقابة على التلوّث الموضوعة قيد العمل ، بما في ذلك أجهزة تنقية الغاز المنبعث من مداخن المعامل وكذلك طرائق استخراج الغاز من الفحم » . وهذا ما يؤول ، بالطبع إلى « تعرفات أعلى » .

وعلاوة على ذلك ، يقرّر نيكسون زيادة نفقات البحث المقابلة ، وبخاصّة في مجال استبعاد الكبريت .

٧ ـ الطاقة النووية :

« يقدّر أن تقدم الطاقة النووية أكثر من ربع إنتاج الكهرباء في الولايات المتحدة حوالي عام (١٩٨٥) ، وأكثر من نصفه عام (٢٠٠٠) [...] . إن تطوير المفاعل المفرط الفاعلية العامل بالنيوترونات السريعة والوقود المعدني السائل هو الهدف الأوّلي والأهم لأبحاثنا النووية ، النظرية والتطبيقية » .

وبعد أن أشار إلى « ميزان السلامة الاستثنائي » النووي (لم يقع حادث واحد مميت) ، يقف نيكسون ضد « التأخيرات غير المعقولة المحيقة بتطوير الكهرباء النووية » الناجمة عن الاهتمام بأن يكون هذا التطوّر « مقبولاً على صعيد سلامة البيئة » ، هذه التأخيرات التي تفاقم من نقص الطاقة : يجب أن يمكن الجمهور من « المشاركة الكلية في اتخاذ القرارات وطرح الأسئلة » ولكن ، ينبغي أيضاً « تحديث إجراءاتنا الحكومية المصروفة إلى التمكين من الحصول على التراخيص وإلى إجراءات التفتيش » وذلك بغرض التسريع فيها .

٨ — تشجيع الاستكشاف الوطني :

ويطلب نيكسون من الكونغرس التوسعة في الأحكام الناظمة لمنح القروض من أجل الاستثمارات الرامية إلى العثور على مدخرات جديدة من النفط والغاز .

٩ — استيراد النفط :

« إن النظام الحالي لحصص استيرادات النفط — المنهاج الإجباري لتحديد استيرادات النفط — قد أُقرّ في فترة كنا فيها قادرين أن ننتج ، في الولايات المتحدة نفسها ، من النفط أكثر مما نستخدم . وبفرض تضييقات كمية على الاستيرادات ، كان نظام الحصص يحدّ من استيرادات النفط الأجنبي . وكان ، في الوقت نفسه ، يشجع على تطوير صناعتنا النفطية لمصلحة سلامتنا القومية .

« أما اليوم ، فلم نعد ننتج من النفط بقدر ما نستخدم ، وعلينا أن نستورد كميات متزايدة باطراد لتلبية احتياجاتنا » [...] .

« واعتباراً من اليوم فإنني أُلغي ، عن طريق الإعلان ، جميع التعرفات الجمركية المفروضة على استيراد النفط الخام والمنتجات النفطية . ويمكن للحائزين على إجازات الاستيراد أن يستوردوا النفط دون أن يؤدوا عنه رسوماً . ويسهم هذا الإجراء في إبقاء تكلفة النفط في مستوى معتدل بالنسبة إلى المستهلك الأميركي [...] وانني اعلّق أيضاً إجراءات الرقابة المباشرة على كميات النفط الخام والمنتجات المكرّرة التي يمكن استيرادها . وانني احلّ مكان إجراءات الرقابة هذه نظاماً من الرسوم يقوم على حصص الاستيراد المعمول بها حتى اليوم » .

وهذا الإجراء يعدّ من أهم الإجراءات ؛ فهو يفتح أمام الاستيرادات ، بطريقة لا رجوع فيها ، السوق النفطية الأميركية التي ظلّت موصدة حتى ذلك الحين .

« وبزيادة هذه الرسوم تدريجياً ، في خـــلال السنتين والنصف المقبلتين ، حتى الوصول بها إلى المستوى الأقصى وهو نصف سنت عن الغالون (٣,٧٨٥ ليترات) من النفط الخام وسنت ونصف عن الغالون من المنتجات المكرّرة ، يترتب علينا أن نواصل تلبية احتياجاتنا إلى الطاقة مع تشجيعنا الصناعة بزيادة إنتاجها على الصعيد الداخلي » .

ويشجّع هذا النظام ، علاوة على ذلك ، على إقامة المصافي في الولايات المتحدة ، لأن النفط الخام يخضع لرسوم تقلّ ، بقدر ملحوظ ، عن مثيلتها على المنتجات المكرّرة .

وأخيراً يدعو نيكسون لزيادة الطاقة التخزينية الوطنية ، وهي : « ما يؤمّن لنا الحماية من مغبات الانقطاع المؤقت للامدادات الآتية من الخارج » .

١٠ ــ موانىء في المياه العميقة :

ويوصي نيكسون باعتماد برنامج طموح لإنشاء موانىء في المياه العميقة تسمح باستقبال الناقلات ذات الحمولة الكبيرة ، هذة الناقلات أكثر اقتصاداً وأماناً (لأنها أقلّ عـــدداً) ، وباجتناب « الشركات الأميركية والأجنبية تطوير محطات النهاية ، لمناقلة النفط ، المقامة في البهاما والمناطق البحرية في كندا » التي تضيّع على الولايات المتحدة فرص العمل ورأس المال المقابلة لها .

١١ ــ حفظ الطاقة :

ولئن كان الإلماح إلى « حفظ الطاقة » غرضه التعبير عن إرادة الحدّ من زيادة الطلب ، فإن حفظ الطاقة هذا يعدّ بالتأكيد أهمّ نقطة في الرسالة ، ليس بما تعلنه من قرارات فحسب ، وإنما بما تظهره من تبدّل عميق في الروحية التي تبديها حكومة البلد الأكثر ثراء في العـــالم .

« في الماضي ، كانت الوفرة في موارد أميركا الطبيعية تشكّل واحدة من أكبر ميزاتنا . ولئن كانت هذه الوفرة تدفعنا إلى اعتبار مواردنا مكسباً لنا ، فقد تعرّضنا للأذى في المستقبل [...] .

« ينبغي أن نخلق في الولايات المتحدة فكرة قومية عن حفظ الطاقة . ويمكن للصناعة أن تحمل رفدها بصنع أدوات تقتصد في الطاقة ، وتستعمل ، هي نفسها ، هذه الطاقة بأقصى قدر ناجع . ويمكن لجميع العاملين والمستهلكين أن يساعدوا أيضاً بالاقتصاد المستمرّ في الطاقة ، من خلال فاعلياتهم اليومية ، وذلك بإطفاء الأنوار وإحكام معايير المحرك في سياراتهم ، وباستخدام أقلّ لمكيفات الهواء وأجهزة التدفئة لديهم ، وبشرائهم أجهزة تستخدم الطاقة بطريقة ناجعة .

« وللحكومة ، على جميع المستويات ، دور هام ينبغي أن تقوم به ، سواء باقتصادها المباشر في الطاقة أم بتوليها قيادة الجهود المبذولة في هذا السبيل » .

ويدعو نيكسون إذن « إلى نظام اختياري للإعلان عن المردود الطاقوية للأدوات الكهربائية المنزلية » ، ويطلب بأن يسمح بتحويل قسم من الأموال المخصَّصة لإنشاء الطرقات العريضة ، إلى تحسين « النقليات العامة التي يمكن للتوسعة في استخدامها أن يساعد مساعدة كبرى في اقتصاد البنزين » ، ويوصي أخيراً بعزل حراري أمثل لدور السكن والمكاتب ويعطي مثالاً عن « مبنى ، مؤهّل لتلقي الخدمات الاتحادية تستخدم فيه التقنيات الأكثر تقدماً لحفظ الطاقة ابتغاء إنقاص (٢٠٪) من الاستهلاك » .

ولئن كان للأميركي الوسط أذنان للسمع ، لكان جابهه المقطع الأخير من هذا الفصل حيث النداء الموجّه إلى إحساسه بالمسؤوليات المدنية يخفي التهديد بصعوبة :

« إن حفظ الطاقة ضرورة قومية ، ولكنني أعتقد أن الإيفاء بهذه المهمّة على أفضل وجه ، إنما يتم على اساس اختياري . وإذا جهلنا هذه المسألة فهذه الجهالة ستترجم بخطر مناقص متزايدة وارتفاعات في الأسعار وإفساد للبيئة ، وكذلك بإمكان وجوب اللجوء إلى القسر ، في المستقبل ، للاقتصاد في الطاقة . ان بلداً كان دائماً يمتلك موارد طاقوية غنية ، لا ينبغي له أن يلجأ إلى تقنين الطاقة . وهنا يكمن عامل من عوامل تحدي الطاقة ، يقتضي أن يساعد كل أميركي في التصدي له ، وانني أناشد كل مواطن من مواطني بلدي المشاركة في هذه المهمة » .

وقد أُنشيء مكتب لحفظ الطاقة على الصعيد الاتحادي : « للبحث عن الوسائل الآيلة إلى الإقلال من الطلب على الطاقة » .

١٢ – بحث نظري وتطبيقي :

وتتركّز الجهود :

* في المدى القصير ، على استخدام أقلّ تلويثاً للفحم والنفط (وبخاصّة على تكرير الفحم عن طريق أحد المذيبات) .
* في المدى المتوسط ، على صنع مولد مفرط الفاعلية يستخدم النيوترونات السريعة ، وعلى سلامة المفاعلات واستبعاد النفايات المشعة .
* وفي المدى البعيد ، على الانصهار النووي والطاقة الشمسية وكل تقنية أخرى قادرة على تقديم طاقة نفطية بكميات تكاد تكون غير محدودة .

« إن مياه الكرة الأرضية تحتوي ، بالقوة ، على وقود – له شكل ايزوتوب خاص من الهيدروجين – متوافر بكميات كافية قادرة على تغذية مفاعلات الانصهار لآلاف السنين . وان رجال العلم في لجنة

الطاقة الذرية يتنبأون الآن وبثقة متعاظمة ، أن بوسعنا في مستقبل قريب التدليل على إمكان القيام ، في المختبر ، بالانصهار الحراري النووي المراقب عن طريق الاحتواء المغنطيسي . وقد تقدّمنا إلى درجة أن بعض رجال العلم لدينا مقتنعون بأن الانصهار عن طريق أشعة ليزر سيتحقق في السنوات القليلة القادمة » .

وتضاف إلى الاعتمادات العامة المرصودة للأبحاث مجهودات القطاع الخاص ، وعلى الأخص ، مجهودات منتجي وموزّعي الكهرباء ، الذين أصبح مقبولاً منهم ، من الآن فصاعداً ، أن يستردوا ، بزيادة على تعرفات البيع ، نفقات البحث والتطوير .

١٣ ــ تعاون دولي :

ويذكر نيكسون بمشاركة الولايات المتحدة في دراسة منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية الهادفة إلى « اتفاق على تقاسم النفط في فترة النقص الحاد » وبإرادتها في التشاور مع الجماعة الاقتصادية الاوروبية حول السياسة الطاقوية، وبالتعاون مع الاتحاد السوفياتي في مجال البحث عن الطاقة .

ولكن أهم المسائل وأدقها ، وهي العلاقات مع البلدان المصدّرة للنفط ، وببساطة ، دول الخليج ، لم تكن موضوعاً إلاّ لتعليق مقنع ورد في المقطع التالي :

« إنني مقتنع بأن تحدي الطاقة يقدم للامم فرصة هامة لمتابعة الأهداف الحيوية من خلال تعاون سلمي . وينبغي لنا ألاّ نهمل أية فرصة لتعزيز بنية السلم الذي نسعى لبنائه في العالم ، وقليلة هي القضايا التي تقدّم لنا مثل هذه الفرصة الطيبة وهي أن هناك كسباً أكبر في متابعة مصالحنا القومية عبر تعاون متبادل من اللجوء إلى تنافس مدمر أو مجابهات خطرة .

١٤ ـ منظمة على المستوى الاتحادي لممارسة أنشطة تتعلّق بالطاقة :

إن التبديلات المعلن عنها تهدف إلى تقوية قدرات الحكومة الاتحادية على الإشراف والتنسيق وعلى مركزة نهج السياسة الطاقوية المعروضة في هذه الرسالة .

١٥ ـ النتيجة :

يحسن إيراد هذه النتيجة كاملة ، بما يلي :

« لا تفلح الامم إلاّ إذا كانت قادرة على التصدي للتحديات والتغيير كلما استدعت الظروف والمناسبات ذلك .

« عندما قدم المعمرون الاول إلى أميركا وجدوا أرضاً أصبحت ثرواتها الطبيعية الهائلة حجر الزاوية في قيام الامة الأكثر ازدهاراً في العالم . وفي حين كان يتزايد عـــدد سكاننا ويتزايد ازدهارنا وقدرتنا الصناعية ، وتتعاظم جميع هذه المؤشرات التي تعكس الارتفاع الثابت لمستوى الحياة الأميركية ، كان الطلب الذي تحمّلته مواردنا الطبيعية قد ازداد أيضاً .

« واليوم نجد أن الموارد الطاقوية، التي غذت مثل هذا القدر من نمائنا القومي ، لم تتطور بالقدر الكافي لتلبية الطلبات المتزايدة باطراد والمرتهنة بها . وقد آن الأوان لتعديل الطريقة التي تواجه بها هذه الطلبات . ويمثل التحدي الذي وضعنا أمامه إحدى الفرص الاستثنائية في زماننا ، فرصة إيجاد اقتصادٍ داخلي أشدّ قوة، وبيئةٍ أكثر نظافة، وحياةٍ أفضل لجميع الأميركيين .

« ويمكن للاقتراحات التي أُقدّمها والاجراءات التي أتخذها أن تعطينا الأدوات الضرورية للايفاء بهذه المهمة الهامة .

« ومن الضروري العمل دون تأجيل . وآمل أن ينظر الكونغرس سريعاً في الاقتراحات التي سأعرضها عليه . ولكن المسؤولية القصوى ، في خاتمة المطاف ، لا تقع على عاتق الكونغرس وحده أو على عاتق هذه الحكومة . إنها تقع على عاتقنا جميعاً : حكومةً وصناعةً ومواطنين عاديين .

« في الماضي ، وكل مرة وجدت فيها أُمتنا نفسها أمام التحديات الكبرى ، كان الشعب الأميركي يقوم بواجبه . وأنا مقتنع بأنه سيقوم أيضاً بواجبه هذه المرة . » .

الملحق الثاني

نظرة عامة على مصادر الطاقة وأنشطة البحوث والتنمية التجريبية الممكنة في مجال الطاقة النووية التي تهم الدول العربية .

من تقرير قدمته منظمة (الاونيسكو) إلى مؤتمر وزراء الدول العربيـــة المسؤولين عن تطبيق العـــلم والتكنولوجيا على التنمية (كاستعرب) الذي عقد في الرباط – المغرب ، من (١٦) إلى (١٩٧٦/٨/٢٥).

المصادر غير التقليدية للطاقة

أولاً – مقدمـــة :

لقيت مسألة الطاقة اهتماماً كبيراً خلال السنوات القليلة الماضية ، وتدرس جوانبها التقنية الاقتصادية والسياسية في الوقت الراهن من خلال مجموعة متنوّعة من التنظيمات التي توجد على مختلف المستويات الدولية .

ولقد حان الوقت لعقد مؤتمر للوزراء المسؤولين عن سياسات العلم والتكنولوجيا في الدول العربيـــة ، لإلقاء نظرة جادّة على احتمالات ما يسمّى بالمصادر غير التقليدية للطاقة ، التي لا شكّ في أن تنميتها واستغلالها هما من المهام ذات المستوى العلمي والتكنولوجي العالي . ولذلك فإن مؤتمر (كاستعرب) قد يرغب في بحث الاحتياجات الوطنية والاقليمية في مجالات البحث والتنميـــة التجريبية (ب) و (ت) ، والمرافق العلمية التكنولوجية (معت) ، مثل الاعلام ، والتعليم المتخصّص ، التي تبدو أنها شرط أساسي لاستغلال مختلف مصادر الطاقة البديلة والمتكاملة ، ولاستخدامها استخداماً رشيداً في الدول العربية .

ومن بين المصادر الكثيرة غير التقليدية للطاقة اختـــار مؤتمر (كاستعرب) اثنين منها لمناقشتهما ، ألا وهما الطاقة النووية والطاقة الشمسية . وقد اقترح هذا الاختيار اجتماع الخبراء التحضيري لمؤتمر

(كاستعرب) (الكويت، ٢٢ ـ ٢٧ مارس/آذار ١٩٧٥)، لما لهذين المصدرين من مصادر الطاقة من أهمية حيوية، ولتأثيرهما الاحتمالي على التنمية طويلة الأجل لجميع الدول العربية تقريباً.

ويمكن افتراض أن احتياجات البلاد النامية من الطاقة ستستمر في التزايد بمعدل أسرع من معدله بالنسبة للبلاد المتقدمة، وأن المصادر التقليدية للطاقة القابلة للنضوب، مثل النفط، لن تكون كافية في المدى البعيد، لتلبية هذه الاحتياجات المتزايدة. وفي الكثير من البلاد العربية سوف يتعين توفير كميات متزايدة من الطاقة لمساحات واسعة نسبياً ولكنها لا تكاد تكون مأهولة بالسكان من ناحية، ولتجمعات حضرية وصناعية آخذة في النموّ السريع من الناحية الاخرى. ومن المتوقع أن تلعب كل من الطاقة الشمسية والطاقة النووية دوراً هاماً في هذا الصدد. ومع ذلك، فإنه قبل الشروع في دراسة هذين المجالين سوف نقدم في القسم التالي وصفاً منهجياً موجزاً لمصادر الطاقة التقليدية وغير التقليدية الكبرى، لكي نضع تنمية الطاقة النووية والطاقة الشمسية داخل إطار أكثر اتساعاً

ثانياً ـ نظرة عامة على مصادر الطاقة (١):

نقسم المصادر المختلفة للطاقة هنا، وفقاً للعادة المتبعة، إلى مجموعتين متميزتين، هما المصادر التقليدية والمصادر غير التقليدية للطاقة. وقد أدرجت الطاقة النووية ضمن المصادر غير التقليدية للطاقة، على عكس بعض التصنيفات التي تميز بين **الانشطار النووي** كمصدر

---

(١) لمريد من التماصيل انطر على سيل المثال «مصادر الطاقة عير التقليدية وغير المسببة للتلوث» (E/AC.52/xx1/CRP.5 ADD 1) لجنة الأمم المتحدة الاستشارية لتطبيق العلم والتكنولوجيا على التنمية (اكاست) الدورة الحادية والعشرون، جنيف، ١٧ – ٢٨ نوفمبر/تشرين الثاني (١٩٧٥)

تقليدي للطاقة والاندماج النووي كمصدر غير تقليدي لها . وفضلاً عن ذلك ، فانه ينبغي التأكيد على أن معظم المصادر التقليدية للطاقة تتعرض للتجديد والتغيير التقني والتحسينات البيئية بدرجة يمكن معها أحياناً وصف التطبيقات الجديدة بأنها « غير تقليدية » ، كما هو الحال في استخدام حركة المد والجزر والأمواج في توليد القوى الهيدروكهربائية . وأخيراً فإنه عند مناقشة مصادر الطاقة ينبغي ألاّ ننسى أن مفتاح استخدامها يتمثل في تطوير نظم تحويل وأساليب تخزين اقتصادية وتتسم بالكفاءة .

١ ــ المصادر التقليدية للطاقة :

أ ــ الفحم الحجري والخث واللجنيت :

يوجد الفحم الحجري بكميات محدودة في المغرب والجزائر . ولا يمكن اعتباره مصدراً هاماً للطاقة في المنطقة العربية . ولا يبدو من المستصوب ، على ضوء نتائج التنقيب في هذا المجال ، توجيه الجهود العلمية والتكنولوجية إلى هذا المصدر من مصادر الطاقة في الدول العربية .

ب ــ النفط والغاز الطبيعي :

يعد هذان المصدران بالتأكيد أهمّ مصدرين للطاقة في منطقة الدول العربية في الوقت الراهن ، وبالتالي فإن وجود أنشطة على مستوى عال من الـ (ب) و (ت) في هذين المجالين هو أمر بالغ الأهمية ، خصوصاً وأن هذين المصدرين الكيميائيين الثمينين ليسا من المصادر المتجدّدة . ومن المؤكّد أن استخراج الغاز الطبيعي من حقول النفط واستخدامه يمكن تحسينهما عن طريق مثل هذه الجهود .

ج ــ الزيت الحجري والرمال القيرية :

ذكر هذان المصدران من مصادر الطاقة من أجل اكتمال العرض، ولو أنه ليست لهما أهمية مباشرة بالنسبة للدول العربية المنتجة للنفط .

د ـ القوى المائية :

يعدّ توليد القوى المائية عن طريق استخدام مساقط المياه أو السدود مصدراً هاماً للطاقة في كثير من البلاد العربية كما ينطوي على إمكانيات بالنسبة للمستقبل ، لأن بعض المواقع لم تستغل حتى الآن .

هـ ـ حطب الوقود والروث والنفايات النباتية :

يستعمل حطب الوقود في كثير من البلاد العربية كمصدر صغير للطاقة . ونظراً لسرعة اختفاء الغابات والأحراج القليلة الموجودة في المنطقة العربية والآثارَ السيئة لذلك على حفظ التربة وعلى البيئة عامة ، فإن الاستعاضة عن هذا المصدر المحدود النطاق من مصادر الطاقة تبدو أمراً في غاية الأهمية .

وإحراق **الروث والنفايات النباتية** ، وإن كان يمثل مصدراً من مصادر الطاقة المحدودة النطاق (للطهي في معظم الحالات) فقد تكون له مع ذلك آثار بالغة السوء على البيئة ، لأنه يتسبب في ضياع قدر كبير من المادة العضوية على دورة الاخصاب . ولذلك ينبغي أن تهدف جهود البحث ، كما هو الحال بالنسبة لحطب الوقود ، إلى إحلال بديل كاف عن الروث والنفايات النباتية كمصادر للطاقة .

٢ ـ المصادر غير التقليدية للطاقة :

أ ـ الوقود النووي :

تجري عادة مناقشة الطاقة النووية انطلاقاً من اختيارين أساسيين : الانشطار والاندماج . وقد أصبحت التكنولوجيات في مجال الانشطار النووي تكنولوجيات عملية بينما لا يزال الاندماج النووي في مراحل البحث الاولى . ويبدو أنه يمكن اعتبار الطاقة النووية الناشئة عن التكنولوجيات المختلفة للانشطار النووي أكثر مصادر الطاقة غير التقليدية المبشرة بإمكانيات عملية بالنسبة للمستقبل القريب .

وبالرغم من أن عدداً من البلاد العربية لديها موارد كبيرة للغاية من الوقود الاحفوري ، التي لم تعرف مقاديرها بعد على وجه الدقة ، فإنه ينبغي الاعتراف بأن هذه الموارد عرضة للتضوب بل وحتى للنفاد في وقت ما في المستقبل البعيد ، وأنه ينبغي من ثم استكشاف بدائل لها (مثل الطاقة الناتجة عن الوقود النووي) .

ب – الطاقة الشمسية :

لما كانت جميع البلاد العربية تقع في مناطق قاحلة وشبه قاحلة تتميز بدرجة عالية من الاشعاع الشمسي ، فإن استخدام الطاقة الشمسية عن طريق التحويل الفوتوفولتي أو الترموديناميي يبدو مجالاً مبشراً بالخير الكثير بالنسبة للبحث والتنمية على المستويات الوطنية وشبه الاقليمية والاقليمية .

ج – الطاقة الحرارية الأرضية :

إن استخدام موارد الطاقة الحرارية الأرضية قد يهمّ بعض البلاد العربية ، ولا سيما نظراً لتشابه المعدات اللازمة والتقنيات المستخدَمة في حفر آبار الطاقة الحرارية الأرضية ، وتلك المستخدمة في حفر آبار النفط والغاز متوسط العمق . وقد يحتل توليد القوة الكهربائية مكانة ذات أهمية خاصّة بين الجوانب المتعددة لموارد الطاقة الحرارية الأرضية .

د – الطاقة الناشئة عن حركة المدّ والجزر والأمواج :

إن استخدام حركة المد والجزر والأمواج لا يناسب هذه المنطقة . ومع ذلك ، فجدير بالذكر أن « طاقة الأمواج يمكن استغلالها باستخدام محرك هوائي بسيط ... قادر على توليد ما معدله (٨٥٠) واتاً للمتر المربع في المتر الواحد من البحر (٢٥ كيلوواط للمحرك الذي يبلغ قطره ٦،١

أمتار) ، وهو أكثر بكثير مما يمكن الحصول عليه من أفضل نظام للطاقة الشمسية » (١) .

هـ ـ طاقة الريح :

ينبغي أن يكون لتطوير تكنولوجيات طاقة الريح من أجل توليد القوة الكهربائية وضخّ المياه مستقبلٌ جيد في بعض الدول العربية ، ولا سيما فيما يتعلق بالشبكات التي لا تحتاج إلى صيانة في المناطق النائية بالصحراء الشمالية .

و ـ الطاقة البيولوجية :

قد تكون أنشطة البحث والتنمية في هذا المجال أكثر ما تكون نفعاً إذا ما ركزت على تحويل الطاقة البيولوجية وفقاً لما اقترحته (أكاست) مؤخراً (٢) . ومن أمثلة ذلك تحويل السماد الحيواني أو نفايات المجارير أو القمامة إلى ميثان . كما أن التمثيل الضوئي أيضاً هو من العمليات الجذابة لتحويل الطاقة الشمسية ، ولكن لما كانت كفاءته منخفضة في الوقت الراهن ، فإن الطاقة المستمدة منه تعتبر مجرد ناتج ثانوي من عمليات اقتصادية أُخرى ، مثل الزراعة أو التحريج .

ثالثاً ـ أنشطة البحوث والتنمية التجريبية الممكنة في مجال الطاقة الشمسيّة التي تهمّ الدول العربية :

اختار اجتماع الخبراء التحضيري لكاستعرب (الكويت ٢٢ ـ ٢٧ مارس / آذار ١٩٧٥) . وفقاً لما سلف ذكره ، الطاقة النووية والطاقة الشمسية موضوعين للمناقشة في مؤتمر كاستعرب . ونظراً لتشعب

(١) اكاست ، المرجع السابق ، صفحة ٨ (الطبعة الانجليزية)

(٢) اكاست ، المرجع السابق

هذين الموضوعين من ناحية، واهتمام كاستعرب بالعلم والتكنولوجيا من ناحية أخرى ، فقد اقترح الخبراء أن تتركّز المناقشات على الجوانب العلمية والتكنولوجية لبعض التكنولوجيات المختارة لاستخدام الطاقة النووية والطاقة الشمسية ، مع التأكيد خاصّة على تعيين مشروعات محددة يحتمل أن تفيد بلدين أو أكثر وتصلح للتعاون الاقليمي .

١ ـ الطاقة النووية في تنمية الدول العربية (١) :

أ ـ اعتبارات عامة بشأن الطاقة النووية في المنطقة :

يبشر الوقود النووي والتكنولوجيات النووية بقدر وفير من الطاقة التي هي أحد مفاتيح التقدم الصناعي ، وهي تمثل البديل المتقدم الوحيد للوقود الاحفوري . وبالرغم من أن الاعتبارات الاقتصادية والصناعية ما زالت تجعل البلاد المتقدمة صناعياً في وضع أفضل من حيث إنشاء محطات توليد الطاقة النووية ، فان الوقت الذي سيحصل فيه عدد متزايد من البلاد النامية على هذا المصدر من مصادر الطاقة ويستخدمه يقترب باستمرار .

ولا يوجد اليوم إلاّ أقلّ من اثنين في المائة من مجموع الطاقة النووية التي تكوّنت أو وضع لها تخطيط ثابت في غير البلاد الصناعية في اوروبا وأميركا الشمالية والشرق الأقصى . وتبين التنبؤات أنه بحلول عام (١٩٨٠) لن تزيد هذه النسبة على خمسة في المائة . ومن الأسباب الرئيسية لهذا الوضع أن الطاقة النووية لا تنافس في الوقت الراهن الطاقة الناتجة عن النفط والفحم الحجري والغاز والماء ، إلاّ إذا أنتجت في مصانع ذات حجم يبلغ من الضخامة حداً يفوق إمكانيات معظم البلاد النامية ،

(١) يستند هذا القسم إلى مساهمة في وثيقة العمل الأساسية لمؤتمر (كاستعرب) أعدتها (اليكسو) بمساعدة الدكتور ابراهيم حمودة نائب مدير مؤسسة الطاقة الذرية ، القاهرة ، مصر .

ولو ان المفاعلات الصغيرة قد تصبح مجزية اقتصادياً إذا انتجت بأعداد كافية . ومع ذلك ، فإنه يوجد الآن في عدد من البلاد العربية طلب صناعي كاف على الطاقة ، ويفكر بعضها جدياً في إنشاء مصانع للطاقة النووية . ومع تحقيق المزيد من التقدم في التكنولوجيا الأساسية ، قد يصبح إنشاء المصانع الصغيرة التنافسية أمراً ممكناً ، وتصبح إقامتها حينئذ مغرية للبلاد العربية الصغيرة .

وتجري الآن دراسات عن استخدام الطاقة النووية في إزالة ملوحة المياه من أجل الصناعات حديثة العهد ومن أجل زراعة مساحات جديدة من الأراضي . وقد تبين من هذه الدراسات أن استخدام الطاقة النووية في أغراض إزالة ملوحة المياه يمكن أن يسهم في توفير المياه العذبة بتكاليف قليلة إلى الحد الذي يناسب الأعراض الصناعية . وبحلول عام (١٩٨٠) ، ربما أصبحت هذه المياه قليلة التكاليف بدرجة تسمح بتزويد المنازل بها وباستخدامها في بعض مجالات الزراعة . ومن ثم فإن إزالة ملوحة المياه عن طريق الطاقة النووية سيهمّ بصفة خاصّة تلك البلاد القاحلة التي يتيح مناخها الزراعة على مدار السنة ، بشرط أن تتوفر المياه بكميات كافية وبتكاليف منخفضة نسبياً .

ويورد الجدول رقم (١) بيانات عن السكان والناتج القومي الإجمالي واستهلاك الكهرباء في معظم البلاد العربية . وإذا اخذت حصّة الفرد من استهلاك الطاقة كمؤشر للتنمية ، فإن معظم البلاد العربية لا تصل إلى مرتبة عالية جداً بالمقارنة مع البلاد الصناعية حيث يجد المرء أن مستويات حصّة استهلاك الفرد من الطاقة تتراوح بين (٤٠٠٠) و (١٥٠٠٠) كيلووات .

الجدول رقم (١)

بيانات عن السكان والناتج القومي الإجمالي واستهلاك الكهرباء في بعض البلاد العربية المختارة

البلد	السكان (بالملايين)	متوسط الزيادة السكانية السنوية ١٩٦٣–١٩٧٠ /	نصيب الفرد من الناتج القومي ١٩٦٨ (دولار اميركي)	استهلاك الكهرباء (مليون كيلو واط ساعة)	حصة الفرد بالكيلو واط ساعة
الجزائر	١٤،٣	٣،٨	٢٥٥	١٧٠٠	١١٩
البحرين	٠،٢	٣،٠	٤٠٨	٢٤٠	١١٣٠
مصر	٣٣،٣	٢،٥	١٠٩	٧٤٠٠	٢٢٢
العراق	٩،٤	٣،٢	٢٨٤	٢٢١٠	٢٣٥
الأردن	٣،٤	٣،٤	٢٦١	١٧٠	٧١
الكويت	٠،٨	١٠،٠	٣٣٠١	٢٢١٠	٢٧٦٣
لبنان	٢،٨	٢،٩	٥٤٢	١٢٣٠	٤٣٩
الجماهيرية الليبية	١،٩	٣،٧	١٧٧٢	٤٣٠	٢٢٠
المغرب	١٥،٥	٣،٠	٢٠٢	١٩٤٠	١٢٥
المملكة العربية السعودية	٧،٧	٢،٧	٥٣٧	٧٧٠	١٠٠
السودان	١٥،٧	٢،٨	١١٢	٣٩٠	٢٥
سورية	٦،٢	٣،٣	٢٥٠	٩٥٠	١٥٣
تونس	٥،١	٢،١	٢١٧	٧٩٠	١٥٥

المصدر استقصاء ودر لسوق الطاقة النووية في البلاد النامية ، طبعة (١٩٧٤)

ويبين الجدول رقم (٢) التنبؤات الخاصّة بذروة الطلب وتوليد الكهرباء بالنسبة لتسعة بلاد عربية حتى عام (٢٠٠٠) . ومن المقدّر أن ترتفع ذروة الطلب من (٨٠٠٠) ميغاواط في عام (١٩٨٠) ، إلى (١٨٥٠٠) ميغاواط في عام (١٩٩٠) ، وإلى (٣٦٦٠٠) ميغاواط في عام (٢٠٠٠) . ومن المقدّر أن يرتفع توليد الكهرباء من (٤٥٣٠٠) ميغاواط ساعة في عام (١٩٨٠) ، وإلى (٩٩٣٠٠) ميغاواط ــ ساعة في عام (١٩٩٠) ، وإلى (١٩٧٥٠٠) ميغاواط ــ ساعة في سنة (٢٠٠٠).

يبين الجدول رقم (٣) التوزيع المقدّر للطاقات المنشأة بحسب نوع مصدر توليد الطاقة . ومن المقدّر أن تبلغ الطاقة النووية المنشأة (٤٠٪) من مجموع الطاقة المنشأة في عام (١٩٩٠) وأن ترتفع إلى (٦٢٪) في عام (٢٠٠٠) .

ويبين الجدول رقم (٤) الزيادات المقدّرة في الطاقة النووية من (١٩٨١) إلى (١٩٩٠) بالنسبة لتسعة بلاد عربية . ومن المتوقع أن يصل إجمالي الطاقة النووية المنشأة إلى (٩٠٥٠) ميغاواط في سنة (١٩٩٠) . **وطبقاً لاستقصاء وذر لسوق الطاقة النووية في البلاد النامية** (طبعة ١٩٧٤) تلزم لتوليد هذه الطاقة (٣١) محطة للقوة النووية موزّعة بحسب حجم الوحدة على النحو التالي :

الطاقة (ميغاواط)	١٥٠	٢٠٠	٢٥٠	٦٠٠	٨٠٠
العـــدد	١٢	١٠	١	٧	١

الجدول رقم (٢)

تنبؤات بشأن ذروة الطلب وتوليد الكهرباء بالنسبة لبعض البلاد العربية المختارة حتى عام (٢٠٠٠)

البلد	التنبؤات بشأن ذروة الطلب (١٠٠٠م و)			توليد الكهرباء (١٠٠٠م و ساعة)		
	١٩٨٠	١٩٩٠	٢٠٠٠	١٩٨٠	١٩٩٠	٢٠٠٠
الجزائر	٠،٦	١،٣	٢،٧	٣،٢	٦،٧	١٤،٢
مصر	٣،٣	٨،٤	١٥،٤	٢٠،٧	٤٧،٠	٨٦،٣
العراق	٠،٨	١،٧	٣،٥	٤،٣	٨،٩	١٨،١
الكويت	٠،٩	٢،٠	٤،٣	٤،٩	١٠،٥	٢٢،٦
لبنان	٠،٥	١،٠	١،٩	٢،٦	٥،١	١٠،٢
المغرب	٠،٧	١،٣	٢،٥	٣،٦	٦،٩	١٣،١
المملكة العربية السعودية	٠،٣	٠،٨	١،٨	١،٧	٣،٩	٩،٥
سورية	٠،٥	١،١	٢،٥	٢،٤	٥،٧	١٣،١
تونس	٠،٤	٠،٩	٢،٠	١،٩	٤،٥	١٠،٥
المجموع	٨،٠	١٨،٥	٣٦،٦	٤٥،٣	٩٩،٢	١٩٧،٥

المصدر : استقصاء وذر لسوق الطاقة النووية في البلاد النامية ، طبعة (١٩٧٤).

الجدول رقم (٣)

التوريع المقدّر للطاقات المنشأة بحسب نوع محطة التوليد (١٠٠٠ م و) لبعض البلاد العربية المختارة حتى عام (٢٠٠٠)

البلـــد	١٩٨٠				١٩٩٠				٢٠٠٠			
	تقليدية	نووية	مائية	المحموع	تقليدية	نووية	مائية	المجموع	تقليدية	نووية	مائية	المجموع
الجزائر	٠،٤	—	٠،٤	٠،٨	٠،٤	٠،٥	٠،٨	١،٧	٠،٤	١،٨	١،٣	٣،٥
مصر	٢،٨	—	٢،٤	٥،٢	٢،٦	٥،٠	٢،٤	١٠،٠	٢،٥	١٢،٦	٢،٤	١٧،٥
العراق	١،١	—	—	١،١	١،١	١،١	—	٢،٢	١،٨	٢،٦	—	٤،٤
الكويت	١،٣	—	—	١،٣	١،٣	١،٣	—	٢،٦	٢،٢	٣،٢	—	٥،٤
لبنان	٠،٣	—	٠،٤	٠،٧	٠،٣	—	١،٠	١،٣	٠،٣	١،٠	١،٢	٢،٥
المغرب	٠،٣	—	٠،٦	٠،٩	٠،٣	٠،٤	١،٠	١،٧	٠،٣	١،٦	١،٣	٣،٢
السعودية	٠،٤	—	—	٠،٤	٠،٨	٠،٢	—	١،٠	٠،٨	١،٤	—	٢،٢
سورية	٠،٦	—	—	٠،٦	١،٠	٠،٥	—	١،٥	١،٣	١،٩	—	٣،٢
تونس	٠،٤	—	٠،١	٠،٥	٠،٨	٠،٢	٠،٢	١،٢	٠،٨	١،٦	٠،٢	٢،٦
المحموع	٧،٦	—	٣،٩	١١،٥	٨،٦	٩،٢	٥،٤	٢٣،٢	١٠،٤	٢٧،٧	٦،٤	٤٤،٥
النسبة المئوية	٦٦	٠	٣٤	١٠٠	٣٧	٤٠	٢٣	١٠٠	٢٣	٦٢	١٥	١٠٠

المصدر . استقصاء ودر لسوق الطاقة النووية في البلاد النامية ، طبعة (١٩٧٤)

الجدول رقم (٤)

جدول الزيادة في الطاقة النووية (١٩٨١ ــ ١٩٩٠) مقدّرة بالميغاوات بالنسبة لبعض البلاد العربية المختارة حتى عام (١٩٩٠)

البلد	١٩٨١	١٩٨٢	١٩٨٣	١٩٨٤	١٩٨٥	١٩٨٦	١٩٨٧	١٩٨٨	١٩٨٩	١٩٩٠	المجموع
الجزائر	—	—	—	١٥٠	—	—	١٥٠	—	—	١٥٠	٤٥٠
مصر	—	—	٦٠٠	—	٦٠٠	٦٠٠	٦٠٠	٦٠٠×٢	٦٠٠	٨٠٠	٥٠٠٠
العراق	—	١٥٠	—	١٥٠	—	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	١١٠٠
الكويت	١٥٠	١٥٠	—	٢٠٠	٢٠٠	—	٢٠٠	٢٠٠	٢٥٠	—	١٣٥٠
لبنان	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
المغرب	—	—	—	—	—	—	٢٠٠	—	٢٠٠	—	٤٠٠
السعودية	—	—	—	—	—	—	—	—	١٥٠	—	١٥٠
سورية	—	—	—	—	—	—	١٥٠	—	١٥٠	١٥٠	٤٥٠
تونس	—	—	—	—	—	—	—	—	١٥٠	—	١٥٠
مجموع الزيادات	١٥٠	٣٠٠	٦٠٠	٥٠٠	٨٠٠	٨٠٠	١٥٠٠	١٤٠٠	١٧٠٠	١٣٠٠	٩٠٥٠
مجموع الطاقة المنشأة	١٥٠	٤٥٠	١٠٥٠	١٥٥٠	٢٣٥٠	٣١٥٠	٤٦٥٠	٦٠٥٠	٧٧٥٠	٩٠٥٠	

المصدر استقصاء ودر لسوق الطاقة النووية في البلاد النامية ، طبعة (١٩٧٤)

ب ـ موارد الوقود المشع :

إذا أُريد تلبية جانب من الاحتياجات المقبلة للبلاد العربية من الطاقة عن طريق الطاقة النووية ، فإنه ينبغي اتخاذ القرارات المتعلقة بامدادات الوقود النووي في وقت قريب . ففيما يتعلق بالاورانيوم ، الذي هو واحد من أهمّ الموارد ، سيحتاج الأمر إلى توسع كبير في عمليات التنقيب والحفر . ويبدو أن التعاون بين البلاد العربية في هذه المجالات سيكون مجزياً للغاية ويمكن لمؤتمر كاستعرب أن يناقشة ويعرض له .

والتنقيب عن موارد جديدة من الاورانيوم واستغلالها مشكلة تتجاوز حدود المنطقة العربية . ويبين استقصاء عالمي أجراه فريق عمل مشترك من وطن / وذر (١) بشأن « موارد الاورانيوم، الإنتـاج والطلب » (اغسطس / آب ١٩٧٣) أن الطلب العالمي على الاورانيوم سيرتفع من مستوى الإنتاج العالمي الحالي الذي يزيد قليلاً على (٢٠٠٠٠) طن من الاورانيوم في العام، إلى إنتاج سنوي يعادل (٥٠٠٠٠) طن من الاورانيوم في سنـة (١٩٨٠) ، و (١٠٠٠٠٠) طن في سنـة (١٩٨٥) ، و (١٨٠٠٠٠) طن في سنة (١٩٩٠) ، وقليلة ان لم تكن معدومة هي صناعات إنتاج المعادن التي دعيت لأن تخطط لزيادة تقرّب من العشرة أضعاف على مدى حوالي (١٥) عاماً ، وفقاً لما تعنيه هذه التنبؤات . وقد يعني هذا أنه سوف يتعين تدبير وتشغيل حوالي عشرة أضعاف العدد الحالي من مناجم الاورانيوم بحلول عام (١٩٩٠).

ج ـ المشكلات التكنولوجية :

ومن بين الشروط الأساسية التي لا بدّ من توفرها في تنفيذ برنامج للطاقة النووية في بلد نامٍ ما يلي :

(١) وطن = وكالة الطاقة النووية ، التابعة لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية .

- نواة من القوى العاملة العلمية والتكنولوجية المؤهّلة تأهيلاً كافياً على مختلف مستويات التعليم والتدريب ؛
- الصناعات الأساسية اللازمة لأنشطة الصيانة والاصلاح ولصنع بعض العناصر المكوّنة لمحطات القوة النووية على الأقل ؛
- تشريع أساسي بشأن السلامة من الأخطار النووية والمسائل القانونية المتصلة بذلك ، وبنية تنظيمية كافية للادارة الفعالة لبرنامج القوة النووية .

وان إنشاء مفاعل نووي وتشغيله على نحو مأمون لا يعني نهاية المسؤوليات . فبرامج الطاقة النووية لا تتطلب دراسة مصانع توليد القوى واختيار مواقعها وتشغيلها والتخطيط لامدادات الوقود النووي فحسب ، بل أيضاً دراسة ما ينبغي بالنسبة للوقود المشع وللنفايات النووية التي يحتويها . والهدف الأساسي من التصرّف بالنفايات هو حماية الانسان وبيئته . وبهذا الصدد ينبغي أن يحسب حساب النفايات الناتجة عن جميع قطاعات دورة الوقود النووي .

وتشمل دورة الوقود النووي الأنشطة الفيزيائية والكيميائية اللازمة لإنتاج الوقود الذي يستخدم في المفاعل ، وتشغيل المفاعل لتوليد الكهرباء ، وإعادة معالجة الوقود المستعمَل لاستعادة المواد القابلة للاستعمال من جديد . أما الخطوات الرئيسية في دورة الوقود المذكورة فهي :

١ - اكتشاف المواد التي هي بطبيعتها خصبة وقابلة للانشطار ، واستخراجها من أماكنها في الطبيعة وتنقيتها .
٢ - تحويل هذه المواد إلى الصورة الكيميائية الصحيحة لاخصابها .
٣ - إعداد الفولتات المطلوبة من المواد الخصبة والقابلة للانشطار سواء عن طريق التعديل الطائري أو المزج الفيزيائي .

٤ – تحويل المزيج فيزيائياً إلى الصورة والمضمون المطلوبين لتشغيل المفاعل .

٥ – تشغيل المفاعل لتوليد الكهرباء .

٦ – فصل وتنقية المواد الخصبة والقابلة للانشطار غير المحترقة من الوقود المستعمَل ، وكذا المواد القابلة للانشطار المتولدة في ذلك الوقود بفعل تشغيل المفاعل ، وذلك لاستعمالها من جديد .

ولا تتطلب جميع أنواع المفاعلات دورة الوقود نفسها . فإن بعض المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل تستخدم كوقود الاورانيوم الطبيعي الذي لا يتطلب إخصاباً نظائرياً وقد تستخدم بعض المفاعلات المبردة بالماء البلوتونيوم وكذلك الاورانيوم – ٢٣٥ كمادة قابلة للانشطار في قوالب تعبئة معادة (قالب الوقود الثاني والقوالب التالية) . وتستخدم المفاعلات السريعة البلوتونيوم – ٢٣٩ والاورانيوم –٢٣٥ والاورانيوم –٢٣٣ كمواد قابلة للانشطار . ومع ذلك فبما أن النفايات الناتجة عن عملية الانشطار متشابهة بالنسبة لجميع المواد القابلة للانشطار ، فإن مشكلات التصرُّف بالنفايات الناتجة عن الوقود المعالج من جديد متشابهة أيضاً . والنظام السائد الآن في جميع أنحاء العالم هو نظام المفاعل المبرد بالماء والذي يستخدم وقود الاورانيوم المخصب قليلاً . وسيشكّل التنسيق بين سياسات البلاد العربية فيما يتعلق بفكرة مفاعل القوى ودورة الوقود الخاصة به اللتين سيقع عليهما الاختيار ، خطوة هامة نحو التعاون المثمر بين العرب من أجل استخدام الطاقة النووية في الأغراض السلمية . ولا ريب أن مؤتمر كاستعرب يستطيع أن يكون مفيداً في تحديد الظروف التي يمكن أن يتم في ظلها التنسيق بين هذه السياسات وذلك التعاون .

وبالنسبة لمسألة المكان النهائي لتخزين النفايات المشعة أو التخلص منها ، هناك أربع نظريات عامة مختلفة :

١ ـ إطلاقها إلى الفضاء ؛
٢ ـ تحويلها ، عن طريق القصف بجسيمات ذرية مثلاً ، إلى عناصر ثابتة أو نظائر مشعّة قصيرة وبنصف العمر ؛
٣ ـ استخدام سطح الأرض ، ويشمل ذلك نظريتي استخدام مرافق مبنية على سطح الأرض أو الايداع بقاع البحر ؛
٤ ـ استخدام بعض التكوينات الجيولوجية ضمن الكتل الأرضية أو تحت قاع البحر .

ويبدو بعد دراسة كل النظريات السابقة من الناحية النظرية ، أن الاثنتين الأخيرتين هما وحدهما اللتان تصلحان للتطبيق خلال هذا القرن . وإذا طبق معيار إمكانية استرجاع الوقود من النفايات ، وهو ما قد تدعو الحاجة إليه في حالة حدوث تطور علمي أو تكنولوجي غير متوقع ، فإن ذلك يدعو في الواقع إلى استبعاد المحيطات ولا يترك إلاّ بديلين : استخدام المرافق المبنية على سطح الأرض ، أو استخدام التكوينات الجيولوجية ضمن الكتل الأرضية .

وبعدما ينتشر استخدام الطاقة النووية في عدة بلاد عربية ، فإن الأسئلة التي ستطرح بشأن إعادة معالجة الوقود هي التالية : هل ستكون البلاد العربية في وضع يسمح لها بأن تضطلع بمعالجة وقودها النووي بنفسها أم ستعتمد على بلاد أخرى لديها مرافق كافية لإعادة المعالجة ؟ من الذي سيكون مسؤولاً عن التخلص من النفايات المشعة ؟ ما هي الأخطار المترتبة على ذلك ؟ هل ستبيع البلاد وقودها المتع باعتباره مورداً لبلاد أخرى تعيد معالجته ؟ أم هل ستؤثر التخلص من عناصر

الوقود المشع على اعتبار أنها من النفايات المشعة ؟ وأياً كانت الإجابات عن هذه الأسئلة ، فستكون هناك فائدة أكيدة من التعاون بين البلاد العربية بالنسبة لتدبير المواد المشعّة بطريقة مأمونة ، وهذا جانب هام قد يود مؤتمر كاستعرب أن يوليه عناية خاصة .

وفضلاً عن المزايا الاقتصادية للتعاون بين البلاد العربية ، هناك على الأقل سببان هامان آخران ، من ناحية التصرف بنفايات الوقود ، لاستخدام مراكز اقليمية عربية لإعادة معالجة الوقود النووي ، وللتصرف بالنفايات المشعّة . وأحد هذين السببين هو التقليل من عدد مصادر التلوّث الاشعاعي ومن عدد المرافق الملوثة بالاشعاعات . والسبب الآخر هو أن المراكز حسنة الموقع والإدارة والموطفين تقلل إلى حد كبير من خطر انطلاق قدر كبير من العناصر المشعة في البيئة بطريقة عفوية ، أو التسبّب في تعريض فئة من السكان لقدر كبير من الاشعاع مما قد يُحدث رد فعل سيئاً وواسع النطاق لدى الجمهور ، قد يصل إلى حد عرقلة برامج القوة النووية لا في البلاد العربية وحدها بل في بلاد أخرى من البلدان النامية وكذلك في البلدان المتقدمة . وبالتالي ، فإنه يبدو أن المصلحة العليا للبلاد العربية تقضي بأن تتعاون هذه البلاد على إنشاء مراكز إقليمية في مواقع ملائمة لإعادة معالجة الوقود والتصرف بنفاياته من أجل التقليل بقدر الإمكان من عدد المراكز الصغيرة لإعادة معالجة الوقود وفي المواقع الملوثة بالاشعاعات ، وأيضاً لتفادي إمكانية عدم كفاية تجهيز بعضها أو سوء تشغيله من حيث التدبير المأمون للمواد الاشعاعية .

وبرامج القوة النووية تخلق احتياجات كبرى من القوى العاملة . فينبغي إيجاد عدد كبير من الموظفين المؤهلين خلال المراحل التحضيرية وخلال الفترة الطويلة التي قد تصل إلى عشر سنوات أو أكثر ، والتي تنقضي بين البدء في تنفيذ مشروع ما وتشغيله على المستوى التجاري

(عامان للاعداد واختيار الموقع والتصميم ، وعامان للبت في العطاءات وإعداد تقارير الأمان ومراجعتها ، وستة أعوام للبناء) .

وقد جاء في استقصاء عن احتياجات وبرامج القوة النووية المقبلة من القوى العاملة (نشرة وذر ١٧ ، العدد ٤ ، ١٩٧٥) أن الاحتياجات من الأيدي العاملة الهندسية لبرامج القوة النووية المقبلة لافريقيا والشرق الاوسط قد تصل إلى (٣٤٠٠) شخص في عام (١٩٨٠) ، و (٦٩٠٠) في (١٩٨٥) ، و (٩١٠٠) في (١٩٩٠) . وقد اعدت هذه التقديرات على أساس افتراض أن الطاقة النووية المنشأة بالمنطقــة ستصل إلى (١٢٠٠ مو ــ ك)(١) في (١٩٨٠) ، و (٢١٠٠٠ مو ــ ك) في (١٩٩٠) ، و (٤٥٠٠٠ مو ــ ك) في (٢٠٠٠) . أما التقديرات المقابلة لذلك والخاصّة بالبلاد العربية ، وهي معدّة على أساس افتراض أن الطاقة النووية المنشأة في المنطقة ستبلغ حوالي (٩٠٠٠ مو ــ ك) في (١٩٩٠) ، و (٢٦٣٠٠ مو ــ ك) في (٢٠٠٠) ، فتذهب إلى أنه سيلزم (٢٠٠٠) مهندس في عام (١٩٨٠) ، و (٣٥٠٠) في (١٩٨٥) ، و (٤٥٠٠) في (١٩٩٠) . ومن الواضح أن كل بلد يخطط لانشاء محطات لتوليد القوة النووية سيواجه مشكلة التدريب المتخصّص الذي سيكون مطلوباً للعلميين والمهندسين والتقنيين . وفضلاً عن ذلك ، سيكون من اللازم الاستمرار في إجراء حد أدنى على الأقل من البحوث الأساسية والبحوث التوافقية للتمكن من التكنولوجيات النووية المعقدة . وفي بعض الأحيان أُنشئت مراكز للطاقة النووية لأغراض البحوث والتدريب عن طريق التعاون الدولي بين عدة بلاد متقدمة (٢) ، ويبدو أنه سيكون

---

(١) م و ــ ك = ميغا وات كهربائي ، لتمييزه عن م و ــ ح = ميغا وات حراري.

(٢) من أمثلة هذه المراكز مؤسسات الـ (ب) و (ت) التي انشئت في أوروبا بمقتضى معاهدة « اوراتوم » . ويضم مركز البحوث المشترك للرابطة الأوروبية للطاقة الذرية أربعة مراكز . اسبرا (ايطاليا) ، بتن (الأراضي الواطئة) ، جيل (بلجيكا) ، وكارلسروهي (جمهورية المانيا الفيدرالية) .

أمراً عظيم الفائدة إذا تعاونت البلاد العربية من ناحيتها على إنشاء مركز نووي واحد على الأقل على ذلك المنوال ، وبدأت بالتالي في تجميع مواردها البشرية والمالية والمادية في مجال التدريب والبحوث من أجل توليد القوة النووية . وسيكون إنشاء مثل هذا المركز ، الذي قد يرغب كاستعرب في دراسته ، هو موضوع القسم التالي .

د – دور مركز عربي للبحث والتدريب في المجال النووي :

يمكن أن يؤدي مركز الدول العربية للبحث والتدريب في المجال النووي دوراً هاماً في برامج القوة النووية للبلاد العربية . ويمكن أن يكون الغرض الرئيسي من مثل هذا المركز هو تأمين التعاون والتنسيق بين الدول العربية في البحث والتدريب في هذا المجال . ومن الأفضل ألا يعنى المركز بأيّ عمل للأغراض العسكرية ، وينبغي أن تنشر نتائج أنشطته التجريبية والنظرية أو تكون متاحة في حالة عـدم نشرها ، للأشخاص والمنظمات التي يهمها أمرها . ويمكن أن تكون المهام التالية على وجه التحديد من بين مهام المركز الأكثر أهمية :

١ – تقديم المشورة للهيئات الحكومية في الدول العربية بشأن مختلف جوانب سياسة الطاقة النووية (مثل تحديد احتياجات البلد المقبلة من الطاقة النووية ، والمتطلبات في مجالات التنظيم والبيئة والاشعاع ، والحماية والضوابط الوقائيـة ، والبنى التنظيمية ، الخ ..) .

٢ – تقديم المشورة للحكومات بشأن ما يلزم من تدابير محددة لتنفيذ برامج الطاقة الوطنية أو الاقليمية .

٣ ـ مساعدة الحكومات على وضع إجراءات محـــددة تتعلق بالتنظيم أو بالتراخيص ؛

٤ ـ إجراء دراسات بشأن تدابير الأمان وتحـــديد المواقع ؛

٥ ـ إدارة برنامج شامل للبحوث النووية ؛

٦ ـ ضمان تنفيـــذ برنامج مدعم ومستمر للتدريب العلمي والهندسي والتقني .

وينبغي بصفة خاصة دعم هذه المهمة الاخيرة تدريجياً لضمان توافر عدد كاف من الخبراء المدرّبين تدريباً عالياً في الدول العربية لسلامة تشغيل محطات توليد القوة النووية وزيادة كفاءة الاحتراق عن طريق أساليب محسنة لتدبير الوقود .

ومن المجالات التي يمكن أن يضطلع المركز بدور فيها في إطار برنامج نووي عربي متزايد الاتساع ، مجال مشكلات صنع الوقود . والواقع أن تنمية القدرة على صنع الوقود يمكن اعتبارها من أولويات إقامة صناعة نووية في منطقة الدول العربية وينبغي فضلاً عن ذلك توجيه اهتمام مبكر إلى إعادة معالجة الوقود والتخلص من النفايات بسبب جسامة تكاليف هذه العمليات . ويبدو أن هذين الموصوعين الأخيرين مناسبان تماماً للدراسة في المركز حيث أنهما يهيئان إمكانيات كبيرة أمام مشروعات التعـــاون .

ويمكن أن يكون من بين الأنشطة الهامة الاخرى للمركز تنسيق البحث عن المعادن الخام التي يمكن استخراج مواد الوقود النووي منها ،

والشروع في برنامج بحوث يهدف إلى تطوير طرق وأساليب إنتاج الوقود النـــووي .

وسيحتاج المركز إلى مفاعل للبحوث يمكن استخدامه بشكل فعال في أغراض التدريب ، وكذلك في أنشطة البحوث العلمية والهندسية الرامية إلى خلق وعي عام بمختلف بارامترات التصميم الهامة وبحدود التشغيل الخاصّة بمكونات وأجهزة المفاعل . ويمكن أن يشمل برنامج البحوث هذا دراسات مثل : اختبار عناصر الوقود ومواد المفاعل ، اختبار التآكل داخل المفاعل ؛ تطوير واختبار نظام الكشف عن الخلل ؛ دراسات حجب الإشعاع ، اختبار درجة ضبط وأداء الأجهزة ؛ تطوير جهاز الكشف داخل المفاعل ؛ دراسات إزالة التلوث ، دراسات مراقبة كيمياء التبريد ؛ الدراسات الهيدرولية الحرارية ؛ تقنيات صنع الوقود ، دراسات سلوك المواد المنشطرة ؛ دراسات الأمان .

وتثير مشكلة هجرة الكفاءات المعروفة جيداً ، قلقاً شديداً في البلاد العربية وكذلك في البلاد النامية الاخرى ، حيث النزوح المستمر للعاملين النادرين المدرّبين علمياً وتقنياً إلى مختلف البلاد المتقدمة صناعياً يعوق التنمية التكنولوجية للبلاد المعنية . ويمكن إلى حد بعيد التخفيف من هذه المشكلة في المجال النووي إذا توافر مركز نووي مستقر وذو برنامج مدعم وثابت وطويل الأجل للبحث والتدريب وأهداف طويلة الأجل ومحددة بوضوح وتلقى دعماً نشطاً من الدول الأعضاء .

وبالإضافة إلى الملاحظات السابقة ينبغي الإشارة إلى أن إنشاء مثل هذا المركز يتطلب دراسة تفصيلية لإمكانات البلاد العربية في مجال العلوم النووية وتطبيقاتها . وينبغي أن يكون حجم هذا المركز وبنيته

وتنظيمه وماليته وبرنامج عمله الخاص موضع دراسات شاملة . وقد يود مؤتمر كاستعرب ، كخطوة اولى في هذا السبيل ، أن يتخذ قراراً بشأن مبدأ إنشاء مثل هذا المركز الاقليمي ، ويتفق على الاجراءات التنظيمية والمالية لدراسة متعمقة للجدوى تُجرى بهذا الشأن . ومن الترتيبات العملية الممكنة لمثل هذا الغرض أن يعين مؤتمر كاستعرب مجموعة صغيرة من الخبراء تعرض النتائج التي تتوصّل إليها بشأن إنشاء مركز عربي للتدريب والبحث النووي على هيئة مناسبة مثل « المؤتمر الدائم لرؤساء هيئات وضع السياسات العلمية والتكنولوجية في الدول العربية » (انظر الفصل الثالث) ، إذا قرّر مؤتمر كاستعرب إنشاء مثل هذه الهيئة الدولية الحكومية .

الملحق الثالث

مقتطفات من محاضرة قدمها السيد اندره جيرو (André Giraud) ، المدير العام لمفوضية الطاقة الذرية الفرنسية ، في (٢٦) أيلول/سبتمبر (١٩٧٧)، أمام مؤتمر «المراهنات الجديدة على العلوم» الذي نظمته مؤسسة الدراسات السياسية في باريس .

تزايد الطلب على الطاقة

إن تزايد الطلب على الطاقة خلال عشرات السنين القادمة ، هو من المواضيع التي تكتسب أهمية كبرى وتحتمل الكثير من الجدل والنقاش اللذين يبعثان على القلق العميق من حيث كفاية الإنتاج لهذه الطاقة . وهذا الجدل النظري والايديولوجي قد انطلق مع تقرير نادي روما الذي كان موضوعه (وقف التقدم) . كما ان القرارات التي اتخذتها منظمة الاوبيك (منظمة الدول المنتجة للنفط) والتي تلت حرب (١٩٧٣) قد حثت على تحليل النتائج التي يمكن أن تخلفها أزمة عالمية في الطاقة .

طرق التنبؤ بالمستقبل :

كيف يمكن أن نتنبأ بالمستقبل ؟ إن الطريقة الأسهل ، والتي يرفضها الكثيرون ، تعمد إلى اعتبار أن المستقبل هو ببساطة تتابع الماضي ، وبهـذا يمكن أن نتصوّر المشاكل والمخاطر لأزمة محتملة في الطاقة .

فلنبدأ بالبلدان غير الشيوعية ، حيث يوجد ببساطة نقص في بعض المعطيات الاحصائية ، وحيث لا قواعد موجهة للاقتصاد بشكل عام ، وللتجارة الخارجية بشكل خاص . فمنذ عام (١٩٦٣) حتى عام (١٩٧٣) زاد استهلاك الطاقة بمعدل (٥،٢٪) في السنة . وإذا تابعنا على نفس

الوتيرة ، فإن هذا العدد سوف يتضاعف (٣،٥) مرات من عام (١٩٧٥) حتى عام (٢٠٠٠) . وبذلك سيتضاعف الاستهلاك من (٢٤٠٠) إلى (١٥٠٠٠) مليون تيب (طن معادل للنفط) . أما البلدان الشيوعية فقد استهلكت خلال نفس الفترة (١٧٠٠) مليون تيب وستصل إلى (٦٠٠٠) مليون تيب خلال عام (٢٠٠٠) . وإذا علمنا ان احتياطي النفط في المملكة العربية السعودية هو (١٥٠٠٠) مليون تيب ، فإن الاستمرار في استهلاك الطاقة على هذا الشكل يمكن أن يكون مرعباً . كما يمكن أن نلاحظ أيضاً أن عدد سكان البلدان الشيوعية سوف يصبح عام (٢٠٠٠) حوالي (٤،٨) مليارات نسمة ، حيث سيكون استهلاك الطاقة بمعدل (٣) تيب للفرد الواحد . وبالمقابل مع البلدان غير الشيوعية ، فإن استهلاك الفرد في فرنسا هو (٣،٣) تيب عام (١٩٧٦) و (٩) تيب في الولايات المتحدة الأميركية . أما المعدل العالمي لاستهلاك الفرد من الطاقة فهو بحدود (١،٤) تيب .

إن هذه الطريقة المتبعة لإلقاء ضوء على المستقبل يمكن أن تتعدل بتقسيم الطلب على الطاقة حسب المناطق الجغرافية وبتحديد نوع المحروقات المستعمَل . ولنحاول الآن التفكير في الأسباب الموجبة لاستهلاك الطاقة : إن استهلاك الطاقة ليس هو هدف بحد ذاته بل هو وسيلة لزيادة مقدرتنا للسيطرة على الطبيعة ، ولتحقيق احتياجاتنا ورغباتنا اليومية . فتوقعاتنا في مجال الطاقة يجب أن تكون وليدة توقعاتنا في مجال الاقتصاد والاحتياجات الاجتماعية ، وهي تقسم إلى ثلاث مراحل :

١ — توقعات على مستوى الحركة الاقتصادية .
٢ — تطوير طرق الاستهلاك ومدى فعاليتها .
٣ — جمع المرحلتين السابقتين لتحديد الحاجة إلى الكمية اللازمة للطاقة .

ولكن هذا التقسيم يطرح أمامنا السؤالين التاليين :

١ - كيف يمكن أن نتصوّر تطوُّر الحركة الاقتصادية مع الزمن في مختلف المناطق والبلدان ؟

٢ - كيف يمكن ان نتصور التطور الصناعي والاجتماعي في مختلف الدول ، وكيف يمكن تصوُّر التطور التكنولوجي ؟

إن نمو وتقدم هذا العصر لا يساورنا شك بالنسبة لهما ، بل على العكس فإن النمو السنوي مرتفع نسبياً ، فهو يساوي (٥٪) للدول التي لها اقتصاد موجّه ، (٥،٤) للبلدان النامية و (٤،٩) للدول الصناعية . غير أن هذه النسبة تختلف من بلد إلى آخر ، فإن نمو بعض الدول يكون أسرع من غيره (اليابان ، كوريا وايران) ويأتي نمو الدول المنتجة للنفط من ضخامة عائداتها النفطية ، أما نمو اقتصاد الدول الغربية فهو موضوع جدل .

إن استنتاج الحاجة إلى الطاقة من خلال الحركة الاقتصادية يمكن أن يكون كلياً باعتمادنا على إيجاد علاقة بين استهلاك الطاقة والناتج المحلي لكل بلد .

ولنبدأ بتحليل الاحتياجات الحقيقية وهي : بخار ، وماء ساخن ، وتكييف ، وطاقة آلية ... وبتصاعد سلسلة الطاقة نصل إلى : آلات الاستعمال ، وتحويل مكاني ، ونقــل وتخزين ، وتحويل مركزي (إنتاج الطاقة الكهربائية مثلا) ، ونقــل الطاقة ، وتمويل أساسي (تكرير النفط مثلاً) وأخيراً إنتاج الطاقة .

ومن الضروري وضع صورة تظهر مختلف طرق الانتقال من المصادر الأولية إلى الاستعمالات النهائية للطاقة ، وتسمح بالتبديل بين أنواع الطاقة . وتحتوي هذه الصورة في كل مرحلة على فعالية الاستعمال

وإمكانية التبديل : انها تسمح إذن بحساب الحاجة إلى الطاقة الأولية حسب استعمالها النهائي . وإذا أضفنا كلفة مختلف المراحل فإننا نستطيع ان نستنتج نوع الطاقة الأقل كلفة .

ولكن حوادث تقلبات الأسعار للوحدات الأولية ممكنة الوقوع دائماً . لذلك فعند افتراض حد أدنى للكلفة ، يجب اعتبارها خلال مرحلة معينــة وليس سنةً بعد سنة . إن هــذه الطريقة تبدو ممتازة بالرغم من صعوبتها ، ولكنها تحتاج إلى عاملين متممين :

تصور التطور التكنولوجي لمختلف الطرق وفاعليــة التحويل والاستعمال . فالتوسع ، حتى في أدق التفاصيل ، يمكن أن يؤدي إلى بالرغم من صعوبتها ، ولكنها تحتاج إلى عاملين متممين :

تصور التطور التكنولوجي لمختلف الطرق وفاعليــة التحويل والاستعمال . فالتوسع ، حتى في أدق التفاصيل ، يمكن أن يؤدي إلى كثير من الأخطاء ، لذلك ، يجب أن يكون هنالك تصورٌ واضح للمستقبل الاقتصادي ، مثل عدد السكان ، وشكل المنازل ، وعــدد المسافرين بالكيلومتر لكل وسيلة نقل على حدة ، وإنتاج كل قطاع صناعي ، وبشكل خاص القطاعات الكبيرة الاستهلاك للطاقة مثل صناعة التعدين ، والاسمنت ، والورق ، الخ ..

وبتعبير أدق ، إن التصميم العالمي يمكن أن يعطي شكلاً هائلاً للتصوُّر الاقتصادي والذي يمكن مطابقته على نظام معين للطاقة ، ولكن أُفق التصوُّر ليس ببعيد ، فهو يتراوح بين (٥) و (١٠) سنوات ، وذلك يعني انه قليل الفائدة بالنسبة لسياسة إنتاج الطاقة . فعندما نسأل عن مستقبل أبعد فإن الاقتصادي يقف عديم السلاح والمتنبّيء بالمستقبل يجب أن يعتمد على الافتراضات المتوافقة والمنسجمة . ونلاحظ أن هذه

الطريقة الصعبة تزيد عدد المتغيرات التي توجب بدورها تصور كيفية تطورهـــا .

النتــائج :

إن التصور للاستهلاك العام للطاقة في العالم غير الشيوعي يمكن أن نعطيه في الصورة المرفقة : نلاحظ أن الخطين البيانيين اللذين يحددان الاستهلاكَيْن الأدنى والأعلى يتباعدان تدريجياً حتى يصبح الفرق بينهما (٢٠٪) تقريباً في عام (٢٠٠٠) ، وهذا التباعد يساوي (٢٥٠٠) مليون تيب ، أي تقريباً نصف استهلاك العالم للطاقة حالياً . ويبلغ استهلاك العالم من الطاقة (٥٣٠٠) مليون تيب منها (٤٠٠٠) مليون تيب (استهلاك العالم غير الشيوعي) . وفي عام (١٩٨٥) ، سيكون الخطأ في حساب استهلاك الطاقة قليلاً لأن طلب العالم غير الشيوعي سيتركز بين (٥٢٠٠) و (٥٥٠٠) مليون تيب . إن الفرق بين هذين العددين ليس بكبير ، وهذا ليس بمدهش لأنه حتى عام (١٩٧٥) يمكن تصوّر كل شيء . أما بعد عام (١٩٩٠) فإن التوقعات تصبح قليلة ، منها مثلاً توقعات مؤسسة (W.A.E.S. : Workshop for Alternative Energy Supplies) والتي تعتبر أن الاستهلاك سيكون بين (٨٠٠٠) و (١٠٥٠٠) مليون تيب . فمؤسسة « ويز » أعطت دراسة موسعة ومفصّلة حيث كانت توقعاتها ، في البلاد الصناعية ، دقيقة في مختلف القطاعات حتى نهاية عام (١٩٨٥) أما بعد هذا العام فقد كانت الدراسة أقل دقة . أما في البلاد النامية فلم يستطع خبراء « ويز » الحصول على معلومات كافية ، لذلك كانت توقعاتهم أقلّ شمولا .

ونقدم الآن النتائج المعطاة بواسطة شكل مبني على علاقات عامة استعملناها لتحليل التوسع الممكن في التجارة الذرية العالمية . ولا يمكن اعتبار هذه النتائج امتداداً للماضي ، بل هي فهمٌ لنوعيـــة التطور

الاقتصادي لبلد معين ولاحتياجاته من الطاقة . فالقيمة العددية للعوامل التي تدخل في التحديد الكمي مقدرة بواسطة تحليل إحصائي للوضع الحالي . وتوقعاتنا للمستقبل بهذا الشكل يمكن أن تضعنا في مكان وسطي بين مختلف التطورات السابقة .

إن تطابق النتائج التي حصلنا عليها مع الدراسات الاخرى الأكثر دقة ، يعطينا دفعاً قوياً للغوص في التفاصيل . فإذا كان تقسيم الاقتصاد إلى عدد كبير من القطاعات يسمح بدراسة دقيقة جداً لطرق استعمال مختلف أنواع الطاقة ، فإنه أيضاً يزيد الأمر صعوبة لأنه يجب ، في النتيجة ، تصوُّر مستقبل كل قطاع من هذه القطاعات (يمكن أن يتراوح عددها بين ٣٠ و ٥٠ قطاعاً) .

إن دراسة مستقبل كل قطاع على حدة تتطلب مجهوداً ضخماً ، وهذا ما يدفعنا إلى القول انه من المستحيل الحصول في كل مرة على توقعات للمستقبل على درجة كبيرة من الدقة ، كما انه يصعب الجمع بين الافتراضات التي نعتبرها دقيقة جداً ، وتلك القليلة الدقة . لذلك كانت تصوراتنا للمستقبل وسطية ، فلقد أدخلنا فيها افتراضات التتابع مع إعطاء شيء من الأهمية للافتراضات التي ذكرناها سابقاً . ويمكن اعتبار هذه الطريقة إذن امتداداً للماضي ، ولكن بتشكل ضمني .

والدراسات التي قامت بها مؤسسة ميتر (M.I.T.R.E) لحساب شركة فورد (Ford) قد أعطت أرقاماً قريبة من الأرقام الدنيا التي أعطتها مؤسسة (W.A.E.S.) . أما الأرقام التي وجدناها فكانت أكبر من الأرقام السابقة عن السنوات العشر القادمة ومطابقة معها بحدود عام (٢٠٠٠) ، فالولايات المتحدة الاميركية سوف تستهلك (٣٠٠٠) مليون تيب في عام (٢٠٠٠) .

ومن جهة ثانية ، هناك الدول النامية . فالخط البياني الذي أعطته منظمة الامم المتحدة لم يكن خطاً معتمداً على التوقعات المستقبلية ،

بل هو خط موضوعي . إنه يمثل الاستهلاك المحتمل إذا افترضنا أن دول العالم الثالث ستخرج من تخلفها الحـــالي . أما توقعــات مؤسسة ويز (W.A.E.S) لاستهلاك الطاقة في هذه الدول فهي أقل من توقعات الامم المتحدة ، وهي تراوح بين (١٨٠٠) و (٢٤٠٠) مليون تيب عام (٢٠٠٠) أما في دراستنا فقد اعتبرنا أن الدولة التي ستخرج من دائرة التخلف إلى مجال الدول المتقدمة هي الدولة التي انطلق اقتصادها فعلاً في الوقت الحاضر . فلقد وجدنا ان الدول النامية سوف تستهلك (٣٠٠٠) مليون تيب في عام (٢٠٠٠) ، أي بمعدل (٠،٨) للفرد الواحد بدل (٠،٣) تيب في الوقت الحاضر (نذكر أن استهلاك الفرد للطاقة في الوقت الحاضر هو كالتالي : (٣،٣) في فرنسا ، (٢،٠) في ايطاليا ، (١،٠) في المكسيك ، (١،٣) في يوغسلافيا ، (١،٤) في اليونان ، (٠،٧) في البرتغال ، و (٠،٧) في كوريا الجنوبية) .

إن الولايات المتحدة الاميركية هي في مقدمة الدول المستهلكة للطاقة ، وهذا يعود لضخامة الناتج المحلي القائم للمواطن الواحد بالنسبة للدول الاخرى ، وهو يساوي (٢٠٠٠) دولار في عام (١٩٧٣) ، وتأتي الدول الصناعية بعد ذلك في استهلاك الطاقة . أما الدول النامية فتقسم إلى قسمين حسب الناتج المحلي القائم للفرد الواحد في سنة (١٩٧٤) إذا كان أقل أو أكثر من (٤٥٠) دولاراً أميركياً ولهذا ، يمكن فصل الدول الفقيرة عن الدول التي بدأ اقتصادها بالانطلاق والتقدم . فهذه الأخيرة سوف تستهلك عام (٢٠٠٠) حوالي ثلث الإنتاج العالمي للطاقة أي ما يعادل (٣٢٪) بدل (١٤٪) حالياً .

ويُظهر هذا بروز ثلاث مجموعات من الدول متساوية في استهلاك الطاقة : الولايات المتحدة الأميركية ، الدول الصناعيـــة ودول العالم الثالث .. ونلاحظ أن التقدم الاقتصادي لدول العالم الثالث ليس كبيراً حيث أن الناتج المحلي القائم للفرد الواحد لم يتعد (٧٥٠) دولاراً في عام

(١٩٧٣) . أما الدول التي ابتدأ اقتصادها بالانطلاق فقد ارتفع الناتج المحلي القائم للفرد فيها من (٨٠٠) دولار إلى (٢٠٠٠) في عام (١٩٧٣) أي نفس المستوى الذي بلغته ايطاليا حالياً ، في حين أن الناتج المحلي القائم في الدول الفقيرة قد ارتفع للفرد من (١٥٠) إلى (٢٥٠) ، كما هي الحال في مصر والسنغال والفيلبين . وفي هذه الظروف سوف يبلغ عدد سكان الأوائل المليار نسمة ، وسيستهلكون (٢٥٠٠) مليون تيب (نصف الاستهلاك العالمي للطاقة عام ١٩٧٥) . أما الآخرون فسيبلغ عددهم المليارين والنصف تقريباً وسيستهلكون (٥٥٠) مليون تيب .

إنتاج واستهلاك الطاقة : قحط أم وفرة ؟

لندرس الآن المستويات المحتملة للطلب على الطاقة ، ولنبدأ العرض المنهجي من النقطة التي وصلنا إليها وهي : إن التحليل يمكن أن يعطي نموذجاً عالمياً على درجة من الدقة . لذلك فإن الميل الحالي هو إيجاد نماذج من التحاليل كثيرة التشعب . وهذه الطريقة قد وجدت ويكفي تطبيقها للحصول على النتائج ، وذلك بتسجيل الطلب على نوع معين من الطاقة ثم مقارنته بالانتاج الوطني مع إمكانية تغطية بعض الاحتياجات بالاستيراد إذا كان ذلك ضرورياً . وهناك بعد ذلك لمصمّم الاقتصاد الوطني مشكلتان ينبغي عليه حلهما : اختيار المصدّر وتناسب سعر الشراء مع ضرورة الاستهلاك .

فاختيار المصدّر لا يخضع ، بشكل عام ، للتحليل الاقتصادي لأن الأسعار العالمية للمواد تبقى متقاربة مهما كان مصدر إنتاجها والمهم هنا هو التبادل التجاري بين الدول نفسها . فالمواد المستوردة يجب أن يدفع ثمنها ، لأن المواد المستوردة لإنتاج الطاقة تدخل في مجال التجارة الخارجية للبلد ، من أجل تخطيط الاقتصاد وتحضير الميزانيات الوطنية ، وهو هنا يحمل عبئاً لتأمين التوازن الاقتصادي العام . ان هذه

البساطة الظاهرة للموضوع هي خادعة ، لأنهـا تخضع لافتراضين أساسيين :

١ ــ عندما يكون الطلب على مادة معينة معلوماً سلفاً ، فإن إنتاجــه يجب أن يتبع ذلك لكي يغطي الاحتياجات المطلوبة .

٢ ــ تبقى الأسعار ثابتة ، وهــذا يعني أن مشاكل ميزان المدفوعات سوف تُحَلّ بالاستمرارية .

إن الفرضية الاولى ثابتة وصحيحة لغاية اليوم . ولكن الشيء الغريب انه بالرغم من اضطراب الأسعار عام (١٩٧٣) ومضاعفة سعر الطاقة أربع مرات ، فإن الفرضية الثانية لم تدخل مجال الشك ، بل بقيت هي القاعدة التي تتحكم ضمنياً باتخاذ القرارات . لذلك ، يجب صرف النظر عن كل انعكاسات سياسة الطاقة ، ولكن هذا الأمر يزيد الأشياء تعقيداً لأنه من المستحيل التقوقع داخل المجال الوطني .

ويتطلب الوضع العالمي إذن تحليلاً في العمق ، ومن المستحيل أن نحدّ أنفسنا في مجال الطريقة التي عرضناها والتي لا تهدف إلاّ إلى تجميع الكميات . لذلك ، يجب أن نتبع طريقة تقارن بين العرض والطلب وأن نتساءل عن شروط توازنها . ونأخذ النفط مثلاً لذلك . وسندرس تطابق إنتاجه العام مع الطلب العام عليه ، لأنه خلال الخمس عشرة سنة الماضية ، كان للنفط دور تأمين التوازن حيث كان هذا الدور في السابق للخشب ثم للفحم .

النتـــائج

من المؤكد أن الاستهلاك لا يمكن أن يتجاوز الكميات المنتجة ، فكيف سيتحقق التوافق إذن ؟ إن النظرية الاقتصادية تقدم لنا جدولاً شارحاً مبنياً على أساس تطوُّر الأسعار والتقلبات التي تفرضها . ولكن هذه النظرية لا يمكن تطبيقها كلياً على موضوع الطاقة ، لأن سوق الطاقة العالمي له ميزاته الخاصّة .

إن الطاقة هي عامل إنتاج عالمي كالعمل أو كرأس المال ، وبالتالي فإن استبداله أصعب بكثير من استبدال مادة بأُخرى ، فعامل الوقت ، الذي هو ملتصق بكل عملية تغيير ، يكون في هذه الحالة طويلاً (حوالي عشر سنوات) بالاضافة إلى نتائج فوضى الانتقال التي سيكون لها تأثير كبير على الأسواق ولفترة طويلة . إن العمل الصحيح يجب أن يسبقه التحضير ، وأن توضع تصوراته قبل فترة طويلة ، وهذا يعني عدم دقة في التخطيط وبالتالي يصبح التغيير بذاته موضوع شك.

كما أن هناك اعتبارين يساعدان على تأزيم المشكلة :

ان الذين يملكون زمام اللعبة النفطية لا يملكون بالضرورة عقلية اقتصادية ، بل من الممكن أن يكونوا عاطفيين أو لهم أهدافٌ اخرى ، وهذه من الامور العجيبة التي تتحدى الاقتصاديين .

والنظريات الاقتصادية ثابتة ومحددة وهي تعتبر أن التغيير يكون بتطوُّر هادىء من حالة طبيعية إلى حالة طبيعية أُخرى ، ولكن عامل الوقت الملتصق بقطاع الطاقة لا يسمح بتجنب فوضى التغيير والانتقال إلى مرحلة اخرى ، فلذلك نجد أنفسنا بدون سلاح لتحديد التطوّر المستقبلي .

إن وضع تحليل نظري يمكن أن يقدم حلاً واضحاً ، هو عمل شاق ونتائجه غير مقنعة ، لذلك سوف نكتفي بمقارنة المشاكل وباحتمالات الخطر . فالنظرية الاقتصادية تفترض انه عندما يزيد الطلب ويكون هناك ركود في الإنتاج ، فإن الأسعار سترتفع (العقلانية في المجال الاقتصادي هي مفهوم خادع لأن السوق تسير معها بشكل مواز حيث الأسعار تشتعل بين لحظة واخرى) . إن هذا الارتفاع في الأسعار يجب ، نظرياً ، أن يحرك أيضاً العوامل المصححة له ، ولكن الاقتصاد العقلي النظري يمر في ظروف صعبة إذ يكفي أي سبب ليقود ارتفاع الأسعار إلى ما فوق الاحتمال حيث يكون من الصعب احتواؤه .

وتمثل الطاقة (٥٪) فقط من الناتج المحلي القائم للبلاد الصناعية . وأي ارتفاع في الطاقة بحدود (٢٠٪) يمثل (١٪) من الناتج المحلي القائم . وبالرغم من أن هذا لا يمثل خطراً هائلاً إلا انه يسبب في الظروف الحاضرة اضطراباً اقتصادياً كبيراً .

وتختلف هذه الحالة عما حدث في عام (١٩٧٣) ، حيث كانت القدرة على الإنتاج جيدة ، ولكن المنتجين استفادوا من أزمة سياسية لرفع أسعارهم بالرغم من انه لم تكن هناك أية حاجة للغلاء أو الاحتكار . فرفع الأسعار يجب أن يكون طبيعياً ونتيجة تخطيط اقتصادي . إن منظمة الاوبيك لم تكن مهددة بالانقسام ، لأنه ليس هناك أي خلاف في الآراء بين أعضائها ، كما أن الأسعار لم ترتفع نتيجة تفاوض مع أسواق الاستهلاك ، بل نتيجة اتفاق بين الأعضاء ، وهذا يمكن أن يحدث في أي وقت ويقود إلى رفع جديد للأسعار .

وبقدر ما يكون ارتفاع الأسعار كبيراً ، بقدر ما يكون استثمار عائدات النفط أصعب . فالدول المنتجة للنفط لا تستطيع أن تستثمر جميع عائداتها في وضع أسس لمشاريع جديدة ، أو في مشاريع استهلاكية داخل بلادها . فتحويل العائدات النفطية محدود، وتثميرها

يجب أن يتمّ بشكل أو بآخر ، ولكن هذا لا يعني بالضرورة أن يعاد البترودولار إلى الدول المستهلكة بشكل قروض أو ودائع من أجل شراء الهيدروكربون . وبالنتيجة ، فإن الدول المصرفية ستجد أن قوّتها تزداد لأنها تجد استثمارات دائمة لرؤوس أموالها . ولكن الواقع الخطير ان هذه الودائع توضع لآجال قصيرة ، مع ان التقدم الاقتصادي وتكيفه مع الآلة الإنتاجية في ظروف جديدة يتطلبان قروضاً طويلة الأجل . فالنظام المالي العالمي يصبح بنتيجة هذا الوضع ، عديم الثبات ، شيئاً فشيئاً ، والدائنون يستطيعون عن طريق سحب رؤوس أموالهم إحداث أزمة اقتصادية هائـــلة .

لنذهب أبعد من ذلك ولنفترض أن سعر النفط قد تضاعف أربع مرات ، فإن الدول الصناعية سوف ترتفع نسبة دفعها من إنتاجها الداخلي الخام من (٢) أو (٣٪) إلى (٨) أو (١٠٪) ، أي سوف تخسر من (٦) إلى (٧٪) من ناتجها المحلي القائم . فإذا علمنا أن رأس المال لدولة صناعية يساوي (٣) أو (٤) مرات ناتجها المحلي القائم ، فإن الدائنين خلال عشرين سنة يستطيعون أن يحصلوا على نصف هذه البلاد ، وهذا وضع يصعب تحمّله .

لنترك المجال الاقتصادي ولنبحث في حساب الفقر ، الذي هو ممكن والذي يستطيع أن ينتشر بقسوة في مدة عام أو عامين ، ويمكن أن يدوم طويلاً إذا كان هناك خطأ في إدارة الحكم ، وذلك بأخذ قياسات ناقصة والقبول بآراء شعبية لتحمّل الوضع . فإذا وصلت ضخامة الفقر إلى الحد الذي لا تستطيع فيه أن تتكيّف مع الآلة الاقتصادية ، فإن التنافس الدولي سوف يصبح خطيراً وقوياً ، وسوف تسعى كل دولة لتأمين احتياجاتها مهما كانت نتائج تأثير ذلك على الدول الاخرى .

ماذا سيحدث في المستقبل ؟ الولايات المتحدة ، التي سوف تستهلك عام (١٩٨٥) ما نسبته (٤٠٪) من الإنتاج العالمي للطاقة ،

تلعب دوراً رئيسياً . فهي تستطيع أن تتكيَّف بصعوبة وتتحاشى أيّ انحطاط قوي ، وذلك بفضل قوّتها السياسية والاقتصادية ، فإذا كان النقص والانحطاط العام بحدود (٥٪) فانهما سيكونان بالنسبة للدول الاخرى فقراً بحدود (٧) أو (٨٪) ، فالدول « النامية » والفقيرة حالياً هي التي ستتأثر بالدرجة الاولى أكثر من غيرها وسوف تزداد فقراً وبؤساً . أما الدول الصناعية فتستطيع وضع ثقلها في الميزان ، كما ان الدول التي هي في طور النمو والمنتجة للنفط تستطيع التوفيق بين سياستها وإنتاجها الطبيعي (مثل إيران والعراق) . أما الدول النامية وغير المنتجة للنفط فسوف تعود لترتمي في أحضان الفقر . والحل غير أكيد ، وانهيار الدول الصناعية سوف يكونَ له تأثيره السيّىء على دول العالم الثالث .

وسواء اتجهنا إلى مراقبة مالية ، أو إلى أخـــذ ملكية الحركات الصناعية أو مقرّرات ظالمة لتجنب الفقر ، فإن النتيجة تبقى دائماً ذاتها ، وهي توتر عالمي يمكن أن يؤدي إلى الحرب . فالشرق الأوسط ، بإنتاجه الذي يساوي (١١٠٠) مليون تيب سنة (١٩٧٦) أي نصف إنتاج العالم غير الشيوعي ، ومخزونه الذي يساوي (٤٤) مليار طن ، هو الحكم في مثل هذا الوضع ، ولكن عدد سكان هذه المنطقة يساوي (٨٠) مليون نسمة (٢ ٪ من سكان العالم و ٣ ٪ من سكان العالم غير الشيوعي) . فهل تستطيع الدول الصناعية الفتية والمسلحة بقوّة أن تتحمل هذا الوضع ؛ أقلّ ما يمكننا قوله ان هـــذه الظروف لا تشجع أبداً على الاستقرار العالمي ، وخطر الحرب بالنتيجة لا يمكن إبعاده .

ونلاحظ اننا انطلقنا من توقعاتنا للطلب على الطاقة ، ووصلنا بشكل طبيعي لطرق مشاكل سياسية عالمية . والسؤال الحقيقي هو التوازن بين الانتاج والاستهلاك ، ولكن التوزيع الجغرافي مختلف وهذا ما يدفعنا إلى بحث العلاقات الدولية .

ونستطيع على المدى البعيد أن نتحرك على أساس مبدأين لتوطيد مبادىء التوازن بهدوء ، فالمصادر الجديدة للطاقة ليست نادرة شرط أن تكون هناك سياسة إرادية لاستخراج جزء من هذه الطاقة وعدم إهمال أيّ نوع آخر منها. فإيجاد تنافس بين أنواع الطاقة أمر غير معقول لأنه ليس لدينا الكثير من هذه الأنواع التي يمكن استخراجها .

أما على المدى القصير فالمشاكل ملحّــــة جداً . فالنفط الذي استطاع أن يؤمّن التوافق بين العرض والطلب خلال الثلاثين سنة الماضية، سوف يقلّ إنتاجه ، وبالتالي سوف يرتفع سعره ، ومتوهم مَن يعتقد أن هناك أملاً بانقسام منظمة الاوبيك والعودة إلى أوضـــاع (١٩٦٠) . وبالنتيجة ، سوف يزداد الطلب على أنواع الطاقة الاخرى .

إن خطورة الوضع الذي سينتج عن نصوب الطاقة (والذي يحمل بذور الحرب) يجب أن يدفعنا ، دون تردد أو تأخُّر ، للبدء في الحركات التصحيحية .

وحتى تتحقق الحلول البعيدة المدى ، فإنه سوف تكون هناك توترات وأزمات في أسواق الطاقة ، تستطيع أن تمرّ بأقلّ ما يمكن من الخسارة ، إذا كانت الحلول موجودة فعلاً . ولكن إذا بدأ الفقر قاسياً وقوياً فإنّ عوامل المقاومة في هذه الحالة يمكن أن تضاعف الأزمة .

والتحليلات المنشورة حديثاً ، والتي أعطينا نتائجها سابقاً ، تظهر الضرورة القصوى للتحرك خوفاً من اتساع رقعة الخطر . فاستباق المستقبل أمر صعب ورؤية خادعة ، لذلك يجب أن نتجنب كلياً التوقعات التي تؤكـد بقوة نموّ الطاقة أو اضمحلالها ونضوبها ، كما نتجنب أيضاً النظريات المفرطة في التفاؤل أو اليائسة المتشائمة . فمجال انعدام التأكيد هنا واسع والوقائع تظهر خطراً عظيماً . لذلك لا يجب تفضيل تفاؤل خادع على استراتيجية تعتمد الحد الأدنى من الخطر .

المراجع

— Lucien Thiriet :
L'Energie Nucléaire, quelles politiques pour quel avenir ?
Dunod, Paris (1976).

— S. E. Hunt :
Fission, Fusion and the Energy Crisis.
Pergamon Press, Oxford, (1974).

— Amory B. Lovins :
Stratégies énergétiques planétaires.
Christian Bourgois Editeur, Paris (1975).

— I. Illich :
Stratégie pour demain.
Le Seuil, Paris (1974)

— L. Puiseux :
L'Energie et le désanoi post-industriel.
Hachette, Paris (1973).

— P. Samuel et C. M. Vadrot :
Le nucléaire en question.
Editions Entente, Paris (1975).

— D. Blane et G. Ambrosino :
Eléments de Physique Nucléaire.
Masson, Paris (1967).

— Yves Chelet :
L'Energie Nucléaire.
Le Rayon de la Science, Paris (1975).
— Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nuléaire.
Electro-uncléaire : danger.
Seuil, Paris (1977).
— O C.D.E. :
Science et Technologie pour l'Energie. Problémes et Perspectives.
O.C.D.E., Paris (1975).

— ك. جلادكوف :
طاقة الذرة .
دار « مير » للطباعة والنشر ، موسكو ، (١٩٧٤) .

— U.N.E.S.C.O. :
Science and Technology in the Development of the Arab States.
U.N.E.S.C.O., Paris (1977).

— لوي دويرو (ترجمة إحسان سركيس) :
الطاقة والبحران ، دراسة حول السماء الطاقي .
منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي ، دمشق (١٩٧٦) .

— O.E.C.D. :
Energy Prospects to 1985 (vols I & II).
O.E.C.D., Paris (1975).
— Commission des Communautés Europèennes
Perspectives de la demande I'énergie primaire dans la Communauté (1975 – 1980 – 1985).
— A. L. Simon :
Energy Resources.
Pergamon Press Inc., Oxford (1975).
— D. C. Lon :
Availability of World Energy Resources.
Graham & Trotman Ltd., London (1975)

المحتويات

مقدمة ٧

نظرة إلى الطاقة
من الفحم إلى الأورانيوم

المحروقات الاحفورية ١٣
١ ــ تطوير مواد المحروقات الاحفورية ١٣
النفط ١٦
١ ــ النفط البحري ١٨
٢ ــ الاستخراج الثاني للنفط ٢٢
٣ ــ الزيوت الثقيلة ٢٤
الغاز الطبيعي ٢٤
النضيد الآجري ٢٨
الرمال الزفتية ٣٠
الفحم ٣١
الطاقة النووية ٣٤
١ ــ الجيل الحالي ٣٥
٢ ــ المفاعل الحراري ٣٧

٣ — المفاعل المفرط الفعاليـــة ٣٨
المصادر الاخرى للطاقة ٣٩
طريقة استعمال الطاقة والاقتصاد في استعمالها ٣٩
١ — القطاع المنزلي والتجاري ٤١
٢ — قطاع الزراعة ٤٢
٣ — قطاع الصناعة ٤٤
٤ — قطاع النقل ٤٤

من الأورانيوم المشع إلى القنبلـــة الذرّية

الموادّ المشعّة ٥١
الـــذرّة ٥٤
١ — تأثير الأشعة على الذرّة ٥٥
٢ — المدفعية الذرية ٦٠
٣ — المفاعل النووي ٦١
٤ — القنبـــلة الذرية ٦٣

المفاعل النووي

أنواع المفاعلات ٦٧
١ — المفاعل الغرافيتي ٦٩
٢ — مفاعل المياه الثقيلة ٧١
٣ — المفاعلات الاخرى ٧٢
إنتاج الكهربـــاء ٧٤

نظرة إلى الكهرباء النووية بـــين التكوين والتطوير

سوق إنتاج الكهرباء النووية ٧٩

تطور السياسات النووية في البلدان الصناعية ٨٢
من يسيطر على سوق تجهيزات الكهرباء النووية ؟ . . . ٨٦
١ — في الولايات المتحدة ٨٨
٢ — في المانيا الفيدرالية ٩٠
٣ — في اليابان ٩٣
٤ — في السويد ٩٥
٥ — في كندا ٩٦
٦ — في بريطانيا ٩٧
برامج المراكز النووية في العالم ١٠٠
١ — ما هي الأعمال المتوقعة في أهم الميادين الصناعية النووية ١٠٢
٢ — سوق البلدان النامية ١٠٣

المفاعل النووي في سوق الحرارة

الخصائص الاقتصادية لعرض الحرارة النووية ١٠٩
الطلب على الحرارة النووية ١١٢
استعمال الحرارة النووية لإزالة الملوحة ١١٢
استعمالات الحرارة النووية ١١٥
الاستعمال الصناعي للحرارة المنخفضة ١١٨
سوق تفويز الفحم ١٢٢
سوق جديدة للهيدروجين ١٢٣

الأورانيوم أو النفط الجديد

احتياطي الاورانيوم في العالم ١٣١
اقتصاديات الاورانيوم الطبيعي ١٣٧
١ — ما هي أهم مصادر الاورانيوم ١٣٧

٢ ـ الإنتاج وقدرة الانتاج ١٤٠
٣ ـ ما هي مصادر التوريوم ١٤٢
٤ ـ تخزين الاورانيوم المشبع ١٤٣
٥ ـ سوق الاورانيوم والمراقبة العالميــة ١٤٧
٦ ـ مميزات العرض الاورانيومي ١٤٨
٧ ـ طلب الاورانيوم ١٥١
٨ ـ تقدير الحاجات ١٥٢

المفاعل النووي والتلوُّث

التلوُّث الإشعاعي ١٥٩
المتدفقات الغازيّة ١٦٠
المتدفقات السائلة ١٦٢

١ ـ مشاكل التخلص من مياه المفاعل ١٦٢
٢ ـ الحاجة إلى الماء ونتائج المخلفات النووية على البيئة الفيزيائيــة ١٦٤
نتائج المخلفات النووية على المحيط الحي ١٦٥

١ ـ التأتيرات الآلية ١٦٥
٢ ـ التأتيرات الحـــرارية ١٦٥
٣ ـ التأثيرات الكيميائية ١٦٦

إعادة معالجة المحروقات النووية ١٦٧
تخزين النفايات النووية ١٧١

١ ـ حادث في مفاعـــل (P.W.R.) ١٧٣
٢ ـ حوادث في المفاعل المفرط الفعالية ١٧٧
٣ ـ نقل المواد الاشعاعية ١٨٠

الملاحق

الملحق الأوّل : مقتطفات من رسالة نيكسون إلى الكونغرس الأميركي حول الطاقة ١٨٣
الملحق الثاني : نظرة عامة على مصادر الطاقة وأنشطة البحوث والتنمية التجريبية الممكنة في مجال الطاقة النووية التي تهم الدول العربية ١٩٧
الملحق الثالث : تزايد الطلب على الطاقة ٢٢٣
المراجع ٢٣٩

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تلزم إلا صاحبها»

١٠ ليرات لبنانية أو ١٠٠٠ درهم ليبي أو ما يعادلهما